

**ISTOM****Ecole supérieure d'Agro-Développement International**

32, Boulevard du Port F.-95094 - Cergy-Pontoise Cedex
tél : 01.30.75.62.60 télécopie : 01.30.75.62.61 istom@istom.net

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Quels sont les impacts et les performances agronomiques, technico-économiques et environnementales que peut apporter l'introduction d'une plante de lutte contre les bio-agresseurs telluriques de l'ananas dans les systèmes de culture en Martinique ?



Figure 1 : Couvert de crotalaires (*Crotalaria retusa*) dans une parcelle expérimentale du PRAM (Jean Dupuis)

SOUTENU EN JUIN 2013



Dupuis Jean
Promotion 98
Stage effectué au Lamentin, Martinique
du 30/04 /2012 au 28/09 /2012
Au sein de l'UR 26 « Systèmes de cultures bananiers,
plantains et ananas », PERSYST, CIRAD

Maître de stage : Alain Soler
Tuteur : Harry Ozier Lafontaine



ISTOM

Ecole supérieure d'Agro-Développement International

32, Boulevard du Port F.-95094 - Cergy-Pontoise Cedex
tél : 01.30.75.62.60 télécopie : 01.30.75.62.61 istom@istom.net

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Quels sont les impacts et les performances agronomiques, technico-économiques et environnementales que peut apporter l'introduction d'une plante de lutte contre les bio-agresseurs telluriques de l'ananas dans les systèmes de culture en Martinique ?

SOUTENU EN JUIN 2013



Dupuis Jean
Promotion 98
Stage effectué au Lamentin, Martinique
du 30/04 /2012 au 28/09 /2012
Au sein de l'UR 26 « Systèmes de cultures bananiers,
plantains et ananas », PERSYST, CIRAD

Maître de stage : Alain Soler
Tuteur : Harry Ozier Lafontaine

Résumé

La filière ananas à la Martinique connaît un déclin depuis une bonne décennie. Depuis 2007, la mise en vigueur du plan EcoPhyto 2018 a conduit au retrait de certains insecticides utilisés en culture d'ananas. Aujourd'hui les producteurs d'ananas martiniquais sont confrontés aux dégâts causés par les symphytes et les nématodes, bio-agresseurs de l'ananas, responsables de pertes considérables sur la production. Le CIRAD à la Martinique travaille sur la conception d'un système de culture innovant, qui dans le cadre de l'intensification écologique, vise à répondre à cet enjeu de lutte contre les bio-agresseurs et à maintenir les niveaux de production. L'innovation repose sur l'introduction d'une plante de service, la crotalaire, capable notamment d'assainir un sol vis-à-vis des populations de parasites. Dans le cadre d'un transfert de technologies, le rapport suivant tente d'analyser l'impact et les performances qu'apporte l'introduction d'une telle plante. Il propose également une évaluation *ex ante* des performances agronomique, technico-économique, et environnementales du prototype de système de culture.

Mots-clés : ananas, transfert de technologie, intensification écologique, système de culture, innovation agricole, *Crotalaria sp.*, symphytes, nématodes, évaluation *ex-ante*.

Abstract

In Martinique, the pineapple sector is declining over the last decade. Since 2007, the implementation of plan Ecophyto 2018 has led to the withdrawal of some insecticides used in pineapple crop cycle. Today the Martinican pineapple producers are faced with symphyllids and nematodes, pests of pineapple, which are responsible of considerable losses in production. CIRAD in Martinique works on the conception of an innovative crop system, which in the context of ecological intensification, aims to give an answer to the fight against pests and maintain production levels. The innovation is the introduction of a service crop, crotalaria, able to clean up the soil from the pest populations. As part of a technology transfer, this paper attempts to analyze the impact and performance brought by the introduction of such a plant. It also offers an *ex ante* evaluation of techno-economic, agronomic and environmental performances of this prototype of crop system.

Key-words : pineapple, transfer of technology, ecological intensification, crop system, agricultural innovation, *Crotalaria sp.*, Symphyllids, nematodes, *ex-ante* evaluation.

Resumen

En Martinica, el sector de la piña ha disminuido en la última década. Desde 2007, los planes de implantación de Ecophyto 2018 llevaron a la retirada de algunos insecticidas utilizados en el cultivo de piña. Hoy en día los productores de piña de Martinica se enfrentan a los sínfilos y los nematodos de piña, responsables de pérdidas considerables en la producción. El CIRAD en Martinica trabaja en el diseño de un sistema de cultivo innovador, que en el contexto de la intensificación ecológica, tiene como objetivo abordar el tema de la lucha contra las plagas y mantener los niveles de producción. La innovación es la introducción de una planta de servicio, la Crotalaria, incluyendo la capacidad para remediar la tierra de las poblaciones de plagas. Como parte de la transferencia de tecnología, en este trabajo se propone analizar el impacto y el rendimiento traídos por la introducción de este tipo de planta. También ofrece una evaluación *ex-ante* del rendimiento técnico-económico, agronómico y ambiental del prototipo de sistema de cultivo.

Palabras claves : piña, transferencia de tecnología, intensificación ecológica, sistema de la cultivo, innovación agrícola, *Crotalaria sp.*, symphylla, nematodos, evaluación *ex-ante*.

Table des matières

Remerciements	5
Table des figures.....	6
Table des tableaux	6
Table des graphiques	7
Introduction.....	8
I. Contexte de la culture de l'ananas en Martinique.....	11
A. La production d'ananas en Martinique.....	11
1. Histoire de l'ananas dans l'agriculture martiniquaise.....	11
2. La filière ananas actuelle en crise à la Martinique.....	12
3. Contexte du plan Ecophyto 2018.....	13
B. Bio-agresseurs telluriques de l'ananas en Martinique.....	14
1. Symphyles	14
2. Nématodes	15
3. Dynamiques spatiales et temporelles des populations de Nématodes et de Symphyles à l'échelle de la parcelle: expérimentations effectuées au PRAM	17
C. Système de culture de l'ananas.....	18
1. Caractéristiques et exigences agronomiques	18
2. Itinéraire technique : justification des pratiques culturales.....	20
3. Des pratiques culturales à améliorer.....	24
D. Bilan sur les causes du dysfonctionnement de la filière au niveau de la production.....	24
II. Le projet FEADER / CIOM : conception d'un système de culture innovant et transfert technologique	26
A. Etat de l'art sur la conception de systèmes de culture innovants	26
1. Méthode de conception et innovations en systèmes de culture.....	26
2. Suivi et évaluation	28
3. Adoptabilité	29
B. L'alternative agro-écologique proposée	29
1. Caractéristiques botaniques et physiologiques de la crotalaire.....	29
2. Les avantages agro-écologiques	30
3. Principe de fonctionnement du prototype de Système de Culture innovant	32
C. Cadre des contraintes liées au transfert	34
1. Analyse des synergies et antagonismes au regard de l'itinéraire technique	34
2. Inflexions techniques à prévoir.....	35

3.	Expérimentations systèmes et scientifiques à co-construire avec les planteurs	35
III.	Etude de l'impact de l'innovation technique sur les performances des systèmes de culture de l'ananas	36
A.	Méthodologie.....	36
1.	Recherche bibliographique	36
2.	Mise en place des sites de démonstration	36
3.	Méthode de suivi des sites et conception d'un modèle d'évaluation	38
4.	Modélisation conceptuelle des systèmes de culture d'ananas testés	40
B.	Analyse fonctionnelle des systèmes de culture testés	41
1.	Modélisation fonctionnelle	41
2.	Simulation de l'impact de l'innovation sur les performances des systèmes de culture étudiés	48
3.	Résultats	49
4.	Discussion.....	51
IV.	Conclusion.....	52
	Bibliographie	54
	Table des annexes	58

Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord mon maître de stage, Alain Soler, de m'avoir accueilli au sein de son équipe pour la réalisation de ce stage de fin d'études. Je le remercie encore pour sa patience, ses nombreux conseils, et pour la confiance qu'il m'a accordée dans mes différentes tâches.

Je remercie également Paul-Alex Marie Alphonsine, qui a été mon maître de stage secondaire mais pourtant très présent tout au long du stage. Grâce à sa bonne expérience du terrain, de la filière ananas aux Antilles, et à sa lucidité, j'ai beaucoup appris de lui durant ce stage. Et puis j'aimerais le remercier également pour sa bonne humeur quotidienne, pour tous les conseils pratiques et précieux qu'il m'a apportés durant mon séjour, pour toutes les discussions riches et intéressantes que nous avons eues. Je n'oublierais pas non plus tous ces moments passés avec Paul-Alex et Aimé à compter des symphytes sous la pluie ou en pleine chaleur. Grâce à eux, ces travaux parfois redondants n'en devenaient pas moins agréables.

Je remercie également Jean José Martial, de l'IT² avec qui j'ai également travaillé. J'ai beaucoup appris en termes de connaissances techniques et sur la filière ananas grâce à lui. Je le salue également pour sa bonne humeur et pour les discussions intéressantes que j'ai eues avec lui.

Je remercie Philippe Tixier, qui m'a bien aidé dans la conception du modèle réalisé en stage.

Je tiens à remercier et à saluer également toutes les personnes du PRAM que j'ai côtoyées durant le stage. Je pense en particulier à l'équipe de nématologie (Serge, Christianne et Martin) et aux nombreux stagiaires présents.

Merci en particulier à Sophie, Aude, Noémie, Audrey, Rémi, Elsa, Nicolas, Charles, Benjamin, et Andrus pour les bons moments passés ensemble à la Martinique.

Enfin je tiens à remercier mes parents à qui je dois beaucoup, chers parents j'espère que vous trouverez ici toute ma reconnaissance.

Une pensée à tous les istomiens qui m'ont soutenu durant la rédaction de ce mémoire, et avec qui les échanges post-stage ont été très riches, et j'en suis certain, ont contribué à me donner un regard plus mûr sur mon travail. Une pensée toute particulière à Justine.

Table des figures

Figure 1 : Photographie d'un symphyle adulte (<i>Hanseniella spp.</i>) issu du Nord de la Martinique (source propre).	14
Figure 2 : Système racinaire d'ananas en "balai de sorcière" (source : FREDON).	15
Figure 3 : Cycle de vie des nématodes réniformes (source : Nemaplex)	16
Figure 4 : Carte de densités de populations de symphyles (<i>Hanseniella spp</i>) en gradient de couleurs, et de nématodes (<i>Rotylenchulus reniformis</i>) entre 6 à 9 mois après la plantation des ananas. Les populations de nématodes ont été reportées sur la parcelle.	17
Figure 5 : cycle de culture de l'ananas (PIP, 2009).	19
Figure 6 : schéma synthétique des principales opérations culturales de l'itinéraire technique de la culture d'ananas en Martinique (source propre).	20
Figure 7 : schéma synthétique des interactions entre innovations, institutions et partenaires (Chave)	27
Figure 8 : Evaluation du potentiel de différentes espèces végétales comme culture de rotation (dont <i>C. juncea</i> , <i>C. retusa</i> , <i>C. spectabilis</i>). Expérimentation en serre (Soler <i>et al.</i> , 2012).	30
Figure 9: Système de culture ananas innovant conçu par l'équipe du projet FEADER/CIOM	33
Figure 10 : schéma du parcellaire de démonstration sous la modalité 1 (source propre).	37
Figure 11 : schéma du parcellaire de démonstration sous la modalité 2 (source propre).	38
Figure 12 : schéma conceptuel d'un système de culture représentatif des systèmes de culture de l'ananas pratiqués à la Martinique	40
Figure 13 : schéma conceptuel des impacts agronomiques, économiques et écologiques des services fournis par l'introduction d'un couvert de crotalaires en rotation dans le système de culture de l'ananas, à l'échelle de la parcelle.	42

Table des tableaux

Tableau 1 : Evolution du secteur ananas en Martinique durant la dernière décennie (Source : Chambre d'Agriculture de la Martinique, 2008)	12
Tableau 2 : Méthodes d'études de successions de culture (Debaeke)	28
Tableau 3 : Capacité d'un couvert de crotalaires à fournir de la biomasse sèche et de l'azote. (Données d'expérimentations réalisées en Floride ¹ MARSHALL, 2002 et à Hawaï ² , ROTAR & JOY, 1983)	32
Tableau 4 : Répartition des coûts par opération culturale en système de culture ananas actuel chez les planteurs 1 et 2 (source propre).	43

Tableau 5 : Répartition des coûts selon les opérations culturales en culture d'aubergine actuelle chez les planteurs 1 et 2 (source propre).	44
Tableau 6 : choix des intervalles d'impact des populations de bio-agresseurs résiduelles sur le rendement en ananas (source propre).	46
Tableau 7 : choix des intervalles d'impact de la crotalaire sur le coût du désherbage d'une parcelle d'ananas dans le SDC innovant. Les valeurs qui ne sont pas des pourcentages sont données à titre d'exemple, et sont exprimées en € (source propre).	47
Tableau 8 : Estimation des coûts pour la mise en place d'une parcelle de crotalaire (source propre).	48

Table des graphiques

Graphique 1 : Production d'ananas chez le planteur 2. Coûts et Marge Brute (en €) (source propre).	44
Graphique 2 : Production d'aubergines chez le planteur 2. Coûts et Marge Brute (en €) (source propre).	45
Graphique 3 : Résultats obtenus par modélisation sur l'impact économique de l'introduction de la crotalaire pour le planteur 1 (source propre).	49
Graphique 4 : Résultats obtenus par modélisation sur les scénarii possibles sur l'impact économique de l'introduction de la crotalaire pour le planteur 2 (source propre).	50

Introduction

La filière ananas en Martinique connaît un certain déclin depuis une vingtaine d'années, tant sur le plan structurel que fonctionnel. En effet au début des années 2000, on recensait encore 56 producteurs d'ananas sur l'île, contre un peu moins de la moitié aujourd'hui. La surface cultivée a elle aussi diminué et est passée d'environ 500 hectares à moins d'une centaine d'hectares seulement. Sur le plan fonctionnel, notamment à cause de difficultés à rester compétitive sur le marché mondial, la SOCOMOR, l'ancienne usine martiniquaise de conditionnement et de transformation des ananas a dû fermer ses portes en 2006. Aujourd'hui la production martiniquaise d'ananas est tournée exclusivement sur le marché local du frais, et les producteurs connaissent alors de nouvelles difficultés.

En 2007, la Martinique, île Caribéenne sous législation européenne, s'est vu interdire l'usage de certains pesticides de lutte contre des bio-agresseurs telluriques utilisés en culture de bananes et d'ananas comme le prévoyait le plan Ecophyto 2018. Aujourd'hui les producteurs doivent donc faire face à ce défi qui est de maintenir une production locale sans recours à des intrants chimiques, dans des sols où les bio-agresseurs prolifèrent. Du point de vue économique cela représente également un défi dans la mesure où les îles voisines, excepté la Guadeloupe, ne sont pas soumises à ces restrictions phytosanitaires, ce qui leur permet de rester compétitives sur le marché de l'ananas à la Martinique, leurs productions étant assurées.

L'intensification écologique dans les pratiques agricoles est une des voies compatibles avec le caractère durable de l'agriculture, notamment dans ce contexte de restriction sanitaire. Le CIRAD, centre de recherche agronomique pour le développement, développe et appuie des projets de recherches visant à mettre au point des systèmes de culture plus durables et plus respectueux de l'environnement. C'est par le biais de ces recherches que cet organisme tend à répondre aux enjeux du développement et de la production agricole.

A la Martinique, le CIRAD travaille en partenariat avec d'autres organismes sur le projet FEADER/CIOM, qui tente justement de proposer des systèmes de cultures utilisant des innovations écologiques pour la filière ananas. Ce projet s'inscrit totalement dans la mise en œuvre de moyens de lutte contre les bio-agresseurs telluriques de l'ananas à travers l'intensification écologique.

Les crotalaires sont un genre de la famille des papilionacées (légumineuses), regroupant plus de 200 espèces à travers le monde. Les espèces les plus connues sont utilisées pour leurs qualités d'engrais vert, de fourrage pour les animaux, de plantes d'association culturale ou de plantes de couverture en jachère. Depuis plusieurs années, des recherches sont menées sur les crotalaires pour d'autres services. En effet certaines espèces de crotalaire sont antagonistes aux bio-agresseurs telluriques de l'ananas tels que les nématodes et les symphytes. De plus elles augmenteraient le potentiel mycorhizogène du sol, ce qui présenterait l'avantage d'une induction de défense au sein du système racinaire de l'ananas contre certains micro-organismes non désirables. Les mychorizes sont aussi un facteur d'amélioration de la biodiversité tellurique.

Le projet FEADER a donc pour but de mettre en pratique l'utilisation des services écologiques des crotalaires dans les systèmes de culture de l'ananas à la Martinique. A partir des résultats scientifiques déjà obtenus sur les crotalaires, et d'un système de culture élaboré « à dire d'experts » à partir de ces résultats, ce projet propose une démonstration participative impliquant des producteurs d'ananas martiniquais. Le CIRAD espère ainsi convaincre les

producteurs des avantages d'un tel système innovant, et par le même temps évaluer ce système afin d'en faire ressortir les éléments à améliorer.

Hypothèse :

L'insertion d'une innovation dans le cadre de l'intensification écologique devrait permettre d'apporter des améliorations en termes de performances dans les systèmes de culture de l'ananas actuels. Les composantes a priori directement concernées par un impact de cette innovation sont la qualité du sol pour la culture de l'ananas (assainissement vis-à-vis des bio-agresseurs, apport de matière organique, développement de la microflore et de la biodiversité). Ce prototype de système de culture intègre donc une plante de services, et propose donc de lever la principale contrainte agronomique, à savoir l'infestation du sol par des parasites de l'ananas. Il intègre également de façon optionnelle – en fonction des objectifs et besoins des producteurs – l'introduction d'une culture maraîchère permettant une occupation continue de la parcelle cultivée. En conséquence, les améliorations du système de culture de l'ananas sont une augmentation potentielle du rendement en ananas comparé aux rendements actuels et pourquoi pas une source de valeur ajoutée supplémentaire par l'introduction d'une culture de rente.

Problématique :

L'innovation doit pouvoir faire l'objet d'un suivi, et d'une évaluation dans le cadre du projet FEADER/CIOM. Cela permettra alors d'établir les performances du prototype dans le système de culture innovant.

Quels peuvent être les impacts et les performances agronomiques, technico-économiques et environnementaux apportés par l'introduction d'une plante de lutte contre les bio-agresseurs telluriques de l'ananas dans les systèmes de culture en Martinique ?

Nous tenterons dans le rapport suivant de répondre à cette problématique en définissant dans une première partie le cadre et le contexte de la culture d'ananas à la Martinique. Nous y mettrons en évidence les contraintes rencontrées par les producteurs d'ananas martiniquais. Puis, dans un second temps, nous présenterons l'innovation technique proposée par l'équipe du CIRAD travaillant sur la filière ananas et le projet FEADER/CIOM. Cette partie sera également axée sur les freins et leviers rencontrés dans la mise en place d'une démonstration sur le prototype de système de culture. Enfin, nous aborderons en troisième partie notre travail sur le suivi de la démonstration et l'évaluation des performances du prototype. Nous présenterons le modèle d'évaluation technico-économique *ex-ante* que nous avons mis au point pour répondre à notre problématique.

Le CIRAD à la Martinique

Le PRAM¹ est un Groupement d'Intérêt Scientifique qui regroupe 3 instituts publics dans le domaine de la recherche sur les thématiques de l'agronomie et du développement. Ces établissements publics, qui sont le CIRAD², l'IRSTEA³ (anciennement CEMAGREF), et l'IRD disposent donc sur le site d'équipes de chercheurs, d'ingénieurs, de techniciens et de personnels administratifs afin de mener à bien leurs objectifs.

Mon stage de fin d'études a eu lieu au sein du CIRAD, dont la mission générale est d'appuyer le développement agricole en milieu tropical et subtropical à travers la production ainsi que la transmission de connaissances scientifiques. Le CIRAD, pour répondre aux enjeux de l'agriculture dans le monde, a orienté son travail selon 6 grands axes de recherche scientifique. Ces axes sont les suivants :

- Intensification écologique
- Biomasse énergie et sociétés du Sud
- Alimentation sûre et diversifiée
- Santé animale, maladies émergentes
- Politiques publiques, pauvreté et inégalités
- Agriculture, environnement, nature et sociétés

L'antenne du CIRAD qui a été la structure d'accueil du stage au PRAM est l'unité de recherche propre UR-26 intitulée « Systèmes de culture bananiers plantains ananas ». La problématique de cette unité est la conception de systèmes de culture en bananiers, plantains et ananas durables, à travers l'intensification écologique, tout en répondant aux contraintes sociétales et réglementaires ainsi qu'aux exigences de marché actuelles. Ses axes de recherche reposent principalement sur la compréhension des systèmes de cultures bananiers et d'ananas, et proposent une approche environnementale de ces systèmes. L'un de ces axes est de « Développer des méthodes innovantes de diagnostic, de pilotage et de conception de systèmes de culture basés sur l'utilisation d'indicateurs et de modèles. » (CIRAD, 2007).

Ce stage s'est inscrit au sein du projet FEADER-CIOM dont un des objectifs est d'appuyer la mise en place d'un réseau d'innovations techniques et de transfert agricole⁴ et le second d'effectuer un transfert de technologies innovantes en matière de systèmes de production pour l'ananas, le maraîchage et l'arboriculture fruitière en Martinique et en Guadeloupe.

C'est dans ce contexte précis que nous avons réalisé l'étude sur la mise en place et le suivi de parcelles dans le cadre de la démonstration d'un système de culture d'ananas innovant dans des exploitations pilotes du Nord de la Martinique.

¹ Pôle de Recherche Agronomique de la Martinique

² Centre de Coopération Internationale de la Recherche Agronomique pour le Développement

³ Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

⁴ RITTA

I. Contexte de la culture de l'ananas en Martinique

A. La production d'ananas en Martinique

1. Histoire de l'ananas dans l'agriculture martiniquaise

L'agriculture a longtemps été le moteur de l'économie Martiniquaise. Il y a plus de trois siècles, l'activité agricole portait principalement sur la production de café, de cacao, de tabac et d'indigotier. Puis, en raison de leur faible résistance aux risques climatiques liés à la région des Caraïbes, connue pour ses vents violents, ces cultures laissèrent peu à peu leur place à la culture de la canne à sucre. D'abord cette culture alimenta les sucreries puis progressivement le système de production s'orienta sur la production de rhum. Enfin, la banane et l'ananas, des cultures à plus forte valeur ajoutée vinrent concurrencer considérablement l'activité rhumière.

L'ananas a vraisemblablement été introduit en Martinique par les Arawaks, une ancienne famille de peuples amérindiens originaires d'Amazonie. Les colons, qui appréciaient l'ananas, le consommaient frais ou confis. En 1908, la première usine de transformation d'ananas fut ouverte au Gros-Morne ; mais c'est au début des années 1930 que cette production prit son essor avec la création de la société anonyme « Ancienne Compagnie antillaise » et l'apparition d'exploitations de taille moyenne. En 1935, l'ananas couvrait 135 hectares, 250 hectares en 1937, puis 300 hectares en 1940.

Après la Seconde Guerre mondiale, la production fut redynamisée par la création en 1959 de l'usine SOCOMOR (Société coopérative du Morne-Rouge). Au milieu des années 1960, cette activité déclina en raison d'une surproduction et du coût trop élevé des conserves locales par rapport à celles de Côte d'Ivoire et des îles Hawaï. Entre 1965 et 1969, la situation s'améliora doucement puisqu'on recensait 1200 hectares d'ananas, soit une production de 22 000 tonnes de fruits. Au début des années 2000, la concurrence des pays d'Afrique de l'Ouest et les difficultés financières de la SOCOMOR liées en grande partie à la disparition des aides européennes mais aussi à de profondes dissensions entre membres de la coopérative, firent diminuer la surface cultivée en ananas à seulement 510 hectares. Les zones de culture se sont concentrées essentiellement dans le nord-atlantique et particulièrement dans les communes de Macouba, Basse-Pointe, Ajoupa-Bouillon et Morne-Rouge. La culture d'ananas était à cette époque la troisième culture de l'île, après la banane et la canne à sucre. L'essentiel de la production était alors conditionné sous forme de cubes appelés « crush » pour l'industrie agroalimentaire (SAFFACHE, et al., 2005).

2. La filière ananas actuelle en crise à la Martinique

Dans une logique spatiale de densification de l'espace notamment par des phénomènes tels que la péri-urbanisation, la Martinique a vu sa part de Surface Agricole Utile (SAU) diminuer progressivement. Celle-ci a diminué de 37% en 30 ans, ce qui correspond à une surface de 19 000 ha environ (SAFFACHE, et al., 2005). L'activité agricole est surtout soutenue par l'activité d'export de bananes, dont la production occupe 29 % de la SAU et la production de canne à sucre pour le rhum (12% de la SAU). La filière ananas, qui occupait la troisième place dans l'exportation de fruits en Martinique, connaît une crise depuis les années 90. En 2006, la fermeture de la SOCOMOR a aggravé cette situation.

En effet, l'ouverture des frontières en 1976 avait fortement perturbé l'exportation d'ananas transformés à la SOCOMOR, principal débouché de la filière. La concurrence mondiale, notamment au niveau du coût de la main d'œuvre, constituait alors un défi à relever. Après un audit de la SOCOMOR en 1999, celle-ci s'était repositionner sur son offre et s'orientait alors vers la transformation en produits à forte valeur ajoutée. Pourtant, sa capacité de production restait insuffisante pour répondre à l'offre mondiale. De plus, des épisodes de sécheresses successives en 2000 et 2001 ont conduit à une perte de 20 % de production en ananas frais, dont les fruits étaient plus petits et plus secs, se répercutant sur les rendements de transformation à la SOCOMOR. Le climat de confiance entre les producteurs d'ananas et la SOCOMOR s'en retrouva affecté, et certains des plus gros producteurs d'ananas s'orientèrent alors sur des productions de banane et de canne à sucre, au détriment des surfaces cultivées en ananas. Leurs productions en ananas avaient été, de ce fait, réduites à hauteur de 30 à 50 %.

Ainsi le volume d'ananas livrés à la SOCOMOR diminua considérablement, et l'usine se retrouva dans la situation paradoxale de disposer d'une offre décroissante en ananas frais martiniquais face à une demande croissante sur les marchés d'export. C'est dans ce contexte, et fonctionnant alors au deux tiers de sa capacité, que la SOCOMOR a connu des difficultés financières (FISCHLER, 2004). L'usine de transformation finit par fermer en 2006, ce qui réduit fortement l'opportunité pour la filière ananas d'un débouché tourné vers l'exportation.

Depuis les années 2000, la filière ananas connaît donc un certain déclin, tant sur le plan économique que structurel (Tableau 1). En effet, le nombre de producteurs d'ananas a diminué de 80 % environ en l'espace de dix ans. De ce fait la superficie en ananas a également été fortement réduite, de même que la production. Aujourd'hui on considère que la surface cultivée en ananas est inférieure à 100 hectares, répartis dans le nord atlantique de la Martinique, principalement sur les communes de l'Ajoupa Bouillon, le Morne Rouge, Basse Pointe et Macouba. La production en 2012 serait de l'ordre de 800 tonnes (Quelles solutions pour l'ananas Martiniquais ?, 2012).

Tableau 1 : Evolution du secteur ananas en Martinique durant la dernière décennie (Source : Chambre d'Agriculture de la Martinique, 2008)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Variation 2000/2007	2007
Superficie agricole utilisée (SAU) en culture d'ananas	510	514	495	475	315	270	100	-79,4%	105
Production (tonnes)	15 500	-*	-	-	-	4292	3300	-85,8%	2200
Nombre producteurs	126	-	-	-	-	50	26	-79,4%	26
Chiffre affaire (M€)	2,84	-	-	-	-	-	0,64	-77,5%	0,64

* Données manquantes

Une autre source d'explication du déclin de la filière réside aussi dans le fait que, dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, la majeure partie des produits phytosanitaires utilisés dans la lutte contre les bio-agresseurs de l'ananas dans les pays de l'Union Européenne ont été retirés du marché (voir partie 3 p 13). La production en est largement affectée, et les dégâts liés à certains de ces bio-agresseurs entraînent de lourdes pertes sur les rendements (voir partie I.B, p. 10) mais nous n'avons pas pu chiffrés ces pertes en termes de production globale à la Martinique.

Aujourd'hui, deux organisations de producteurs de fruits et légumes regroupent une bonne partie des planteurs d'ananas martiniquais. La SOCOPMA et Ananas Martinique assurent l'approvisionnement du marché local en fruits frais, bien que ce dernier soit largement dominé par les importations, surtout en provenance de l'île de St Domingue (source personnelle). Nous n'avons pas pu présenter de données concernant les importations en ananas, car celles-ci sont implicitement présentées dans des données d'importations de fruits en général sur les marchés Martiniquais, ou encore confondues dans la totalité des fruits importés par les Départements d'Outre Mer français.

Enfin, la variété « Cayenne lisse » était la plus cultivée jusqu'à la fermeture de la SOCMOR, principalement pour la transformation (COTE, et al., 2011). Les variétés actuellement cultivées sont : le Cayenne lisse, MD2, Flhoran 41, et le Queen, chacune répondant à la demande locale de la grande distribution et des marchés plus traditionnels.

3. Contexte du plan Ecophyto 2018

Dans une stratégie globale au niveau européen, et suite au Grenelle de l'environnement, le plan Ecophyto vise à réduire de moitié l'utilisation de pesticides en agriculture depuis sa création jusqu'en 2018. A cette occasion, les Chambres d'Agriculture ont mis en place sur l'ensemble des départements français un réseau nommé DEPHY, qui consiste à réunir des agriculteurs innovants afin de valoriser les bonnes pratiques pour une agriculture durable. La Martinique dispose de son propre réseau DEPHY et du réseau nommé RITTA proposé par le ministère de l'agriculture en 2011 et dont la mise en place dans les DOM est appuyée par le CIRAD.

C'est dans le contexte du plan Ecophyto que les pesticides et nématicides en culture d'ananas ont été retirés du marché français. En effet, les produits contenant des substances actives telles que le parathion-méthyl, l'ethoprophos (nématicide dont le nom commercial était MOCAP 10 G), le cadusaphos (nom commercial : RUGBY 10G) ont été interdits à la vente et considérés comme non homologués à partir de 2007 (BLANCHARD, FEMENIAS, GILLET, & RENUCCI, 2011). Ces produits étaient alors couramment utilisés dans les plantations d'ananas auparavant, essentiellement pour lutter contre les dégâts sur ananas causés par les nématodes et les symphytes.

La mise en œuvre d'une lutte alternative contre les bio-agresseurs par d'autres moyens que la lutte chimique, comme l'utilisation de plantes de service dans le cadre de l'intensification écologique, représente un enjeu considérable pour la durabilité des systèmes de culture d'ananas. Cette étape fait justement l'objet des problématiques abordées par le CIRAD de Martinique, et constitue le cadre de recherche de notre étude.

B. Bio-agresseurs telluriques de l'ananas en Martinique

La culture de l'ananas en Martinique est particulièrement touchée par les dégâts liés aux symphyles et nématodes. Ce type de dégâts n'est pas de la même importance suivant la localisation géographique de la culture à l'échelle mondiale; sur l'île de la Réunion par exemple, ces parasites ne posent pas de réels problèmes (FOURNIER (CIRAD) & Unité de Productions Fruitières de la Chambre d'Agriculture de la Réunion, 2011). Nous présentons ci après quelques connaissances issues de la bibliographie permettant de comprendre la nature du parasitisme et les modes d'actions des symphyles et des nématodes.

1. Symphyles

Les symphyles font partie des principaux bio-agresseurs telluriques de la culture d'ananas. De nombreux articles scientifiques relatent de dégâts causés par les symphyles sur culture d'ananas principalement dans des régions d'Australie, du Brésil (WELLINGTON DE MORAIS & PAXIAO DA SILVA, 2009), d'Afrique et des îles Caraïennes.



Figure 1 : Photographie d'un symphyle adulte (*Hanseniella spp.*) issu du Nord de la Martinique (source propre).

L'individu présenté ici mesure environ 2 mm.

Ce sont des petits myriapodes blancs, mesurant moins d'un centimètre à l'âge adulte, qui peuvent vivre plusieurs années (Figure 1). Parmi les symphyles, les genres *Hanseniella sp.* et *Scutigerellida sp.* sont les plus impliqués dans les dégâts sur culture d'ananas. A la Martinique, les espèces de symphyles présentes n'ont pas été identifiées, mais elles appartiennent au genre *Hanseniella sp.* Ces symphyles se nourrissent de l'extrémité des racines d'ananas, plus exactement des méristèmes racinaires, entraînant ainsi l'altération du système racinaire des ananas agressés (SOLER, et al., 2011). Selon la fréquence et l'intensité des agressions par *Hanseniella spp.*, et le stade d'avancement des plants, les symptômes sur les racines sont différents. Une agression en continue donnera à la racine de l'ananas une forme de massue, et si les attaques sont plus irrégulières, alors des repousses apparaissent au fur et à mesure et confèrent au système racinaire un aspect de « balai de sorcière » (FREDON) (Figure 2).



Figure 2 : Système racinaire d'ananas en "balai de sorcière" (source : FREDON).

La répartition spatiale et le développement d'une population d'*Hanseniella spp* dans un sol dépend de facteurs d'origine biotique tels que la nature du couvert végétal présent dans le milieu, et la présence de prédateurs. Les symphytes sont également sensibles aux facteurs abiotiques tels que l'humidité du sol, sa structure, sa texture ainsi que sa température. *Hanseniella spp* sont capables de migrer verticalement dans le sol en réponse à une humidité trop faible du sol ou encore des températures trop élevées (KEHE, 1988).

Une culture d'ananas touchée par les symphytes présente des symptômes particuliers. Les feuilles apparaissent desséchées et prennent une teinte rougeâtre. De plus l'une des particularités d'une parcelle d'ananas victime d'agressions par les symphytes réside dans le fait que les plants sont de tailles irrégulière et hétérogène. Cela s'explique par le fait que les symphytes migrent de façon aléatoire d'un plant à un autre sans suivre les rangs, à condition bien sûr que les plants d'ananas aient été calibrés lors de la plantation.

2. Nématodes

Les nématodes forment un groupe zoologique comprenant plus de 80 000 espèces. Si leurs caractéristiques morphologiques sont assez homogènes, on les différencie surtout en fonction de leur mode de vie. Ce sont des vers de taille microscopique, et plus de 15 000 espèces de nématodes sont des parasites. Certains sont parasites des animaux dont l'Homme (Strongles, Ascaris) et certains sont phytophages, c'est-à-dire des parasites se nourrissant de végétaux.

En Martinique, huit espèces de nématodes phytophages ont été recensées. Dans le contexte de l'étude, nous nous focalisons sur l'espèce *Rotylenchulus reniformis*. Pour la suite de l'étude, lorsque nous parlerons de « nématodes », nous sous-entendrons cette espèce en particulier. En effet *Rotylenchulus reniformis* est l'espèce de nématode qui est la plus responsable des dégâts causés aux cultures d'ananas. Cette espèce est naturellement présente dans beaucoup de régions du monde, plus spécifiquement dans les régions tropicales et subtropicales.

Lorsqu'il est présent, *Rotylenchulus reniformis* se situe dans la couche superficielle du sol. C'est une espèce très résistante aux aléas climatiques. L'une des caractéristiques des nématodes réniformes est leur capacité à survivre dans des conditions de sécheresse via une stratégie de survie, appelée anhydrobiosis, selon laquelle ils s'enroulent et peuvent survivre pendant des mois voire des années sans se nourrir (TSAI, cité dans WANG, SIPES, & HOOKS, 2010). Pour cette raison, il apparaît fondamental, en culture d'ananas, d'intervenir sur un sol contenant des nématodes réniformes.

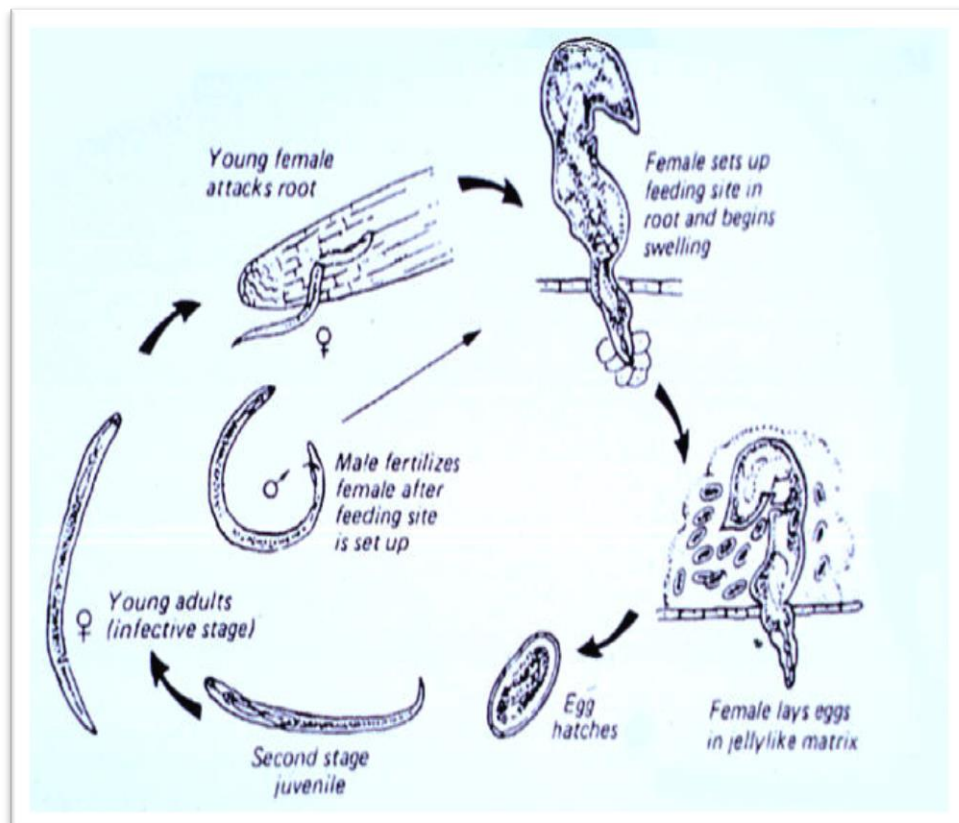


Figure 3 : Cycle de vie des nématodes réniformes (source : Nemaplex)

Le cycle de vie de *Rotylenchulus reniformis* est unique. Les conditions optimales à son développement sont un sol acide, avec un pH égal à 5, et des températures comprises entre 25 et 29°C. *Rotylenchulus reniformis* est un semi-endoparasite (FERRIS, 2011). Seule la femelle au stade jeune adulte constitue le stade infectieux puisqu'elle pénètre les racines des plantes hôtes, comme c'est le cas pour l'ananas. Elle y pond alors ses œufs, qui éclosent une dizaine de jours plus tard. Les nématodes possèdent sur la partie antérieure du tube digestif un stylet qui leur permet de perforer la plante dont ils sont le parasite. Cette infection, si elle a lieu sur les racines primaires de l'ananas provoque leur asphyxie et peut aboutir à l'inhibition de l'émission des racines secondaires (CASWELL, AM, DEFRANKJ., & TANGC, 1989). Les symptômes visibles d'une attaque des ananas par *Rotylenchulus reniformis* sont la prolifération anormale de radicelles sur les parties des racines parasitées et le dessèchement de l'extrémité des feuilles, ainsi qu'un virement de teinte des feuilles du jaune rosé vers le rouge (FREDON).

Par la dégradation du système racinaire, *Rotylenchulus reniformis* a pour conséquence une altération de la croissance et du développement des plants d'ananas parasités. Les nématodes peuvent entraîner des pertes de rendement en ananas de l'ordre de 60 à 70 %, et des pertes sur le rendement en rejets de 40 à 45 % (SIPES B. , 1996). La présence de ce bio-agresseur tellurique dans une culture d'ananas expose donc celle-ci à un risque important de pertes sur la production de fruits et de rejets.

3. Dynamiques spatiales et temporelles des populations de Nématodes et de Symphytes à l'échelle de la parcelle: expérimentations effectuées au PRAM

L'une des thématiques menées par l'UMR 26 à la Martinique dans le cadre de la conception de systèmes de cultures d'ananas consiste à comprendre la dynamique spatiale des bio-agresseurs telluriques. Nous présentons ici les principaux résultats des expérimentations menées à la Martinique sur les bio-agresseurs. Certaines des expérimentations ont été l'objet des travaux secondaires effectués durant le stage, mais nous ne présenterons que rapidement les résultats qui ont de l'intérêt pour cette étude. Il s'agissait d'étudier la dynamique spatiale et temporelle des nématodes et symphytes sous des couverts végétaux et précédents culturels différents.

Résultats

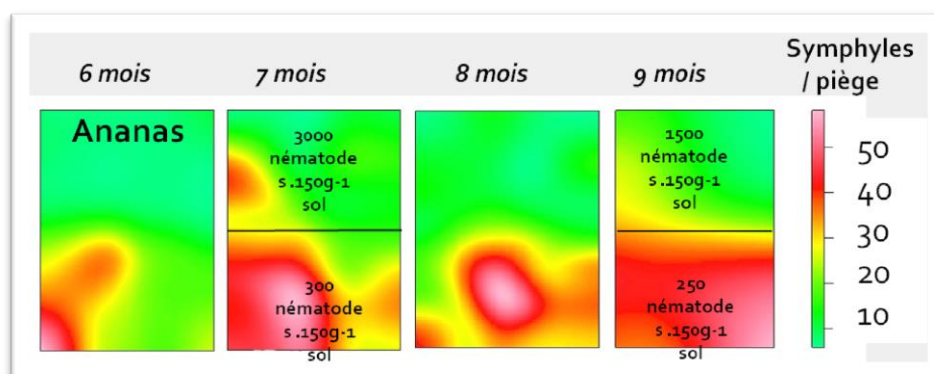


Figure 4 : Carte de densités de populations de symphytes (*Hanseniella spp*) en gradient de couleurs, et de nématodes (*Rotylenchulus reniformis*) entre 6 à 9 mois après la plantation des ananas. Les populations de nématodes ont été reportées sur la parcelle.

L'étude a permis de mettre en évidence par ces expérimentations que les populations de symphytes sont capables de migrer dans la parcelle au cours du temps. En effet, sur la Figure 4, les symphytes partent d'un foyer situé dans le coin inférieur gauche de la parcelle, et se propagent jusqu'au 9^{ème} mois dans la moitié inférieure de la parcelle.

D'autre part, on observe *a priori* une compétition entre les populations puisque leurs densités respectives sont spatialement opposées au sein de la parcelle. D'autres expérimentations au champ et en serre effectuées dans le cadre de cette étude sont actuellement en progression, et tous les résultats ne pouvaient être diffusés sans une analyse globale. Nous mettons donc en garde le lecteur quant à la validité de ces observations, elles ne font en aucun cas autorité sur le sujet jusqu'à validation d'une publication sur cette étude.

Nous pouvons cependant émettre l'hypothèse que les populations de symphytes et de nématodes sont en compétition pour la même ressource, à savoir le système racinaire de l'ananas. Cela aurait pour conséquence, et c'est ce qui nous intéresse particulièrement ici, le fait que les pertes de production liées à la présence de bio-agresseurs dans une culture d'ananas résultent soit d'attaques de symphytes soit d'attaques de nématodes. Cette hypothèse écarterait donc le fait que les pertes de rendement sur un plant donné résultent de l'action combinée des deux bio-agresseurs. Cela soulève donc l'importance de suivre l'évolution des populations de symphytes et de nématodes à l'échelle de la parcelle, plutôt que de quantifier simplement une perte de production globale due aux populations confondues.

C. Système de culture de l'ananas

1. Caractéristiques et exigences agronomiques

L'ananas (*Ananas comosus*), est une plante monocotylédone appartenant à la famille des Broméliacées. C'est une espèce très bien adaptée aux climats tropicaux chauds et secs.

Sa culture est favorisée dans les sols légers et poreux, car son système racinaire est très sensible aux sols compacts ou présentant une zone de compaction comme les semelles de labour, les zones argileuses ou les horizons gravillonnaires peu profonds. De plus les racines de l'ananas sont également très sensibles à l'asphyxie dans les sols peu perméables ou sujets au phénomène d'hydromorphie. Le choix d'un sol pour la culture d'ananas doit s'orienter idéalement sur des sols sablo-argileux à argilo-sableux. Un autre facteur à prendre en compte est l'acidité du sol, dont le pH optimum serait compris entre 4,5 et 5,5. L'ananas est peu exigeant en eau et tolère assez bien les climats secs. Il peut se cultiver sous des pluviométries allant de 600 à 4000 millimètres par an, mais une bonne pluviosité est indispensable pour de bons rendements (Annexe 2).

A la Martinique, les plantations d'ananas sont concentrées dans le nord-atlantique de l'île, principalement sur des andosols sur ponces (ALBRECHT, BROSSARD, CHOTTE, & FELLER, 1992) et sur andosols sur cendres (Annexe 3). Ces sols sont relativement jeunes et riches en minéraux, quoique parfois légèrement déficients en éléments potassium et phosphore. Cependant les apports dans le cadre de l'agriculture classique pour ces derniers éléments ont été apportés en quantités suffisantes pour assurer les besoins des plantes pour plusieurs années (FRANCOIS, MOREAU, & SYLVANDER, 2005).

Le cycle de culture de l'ananas comporte deux grandes étapes, la phase végétative et la phase de production de fruits et de rejets (Figure 5). C'est le traitement d'induction florale¹, une opération réalisée par le producteur, qui marque la fin du cycle de végétation et le passage à la phase de production (cf p22).

¹ TIF

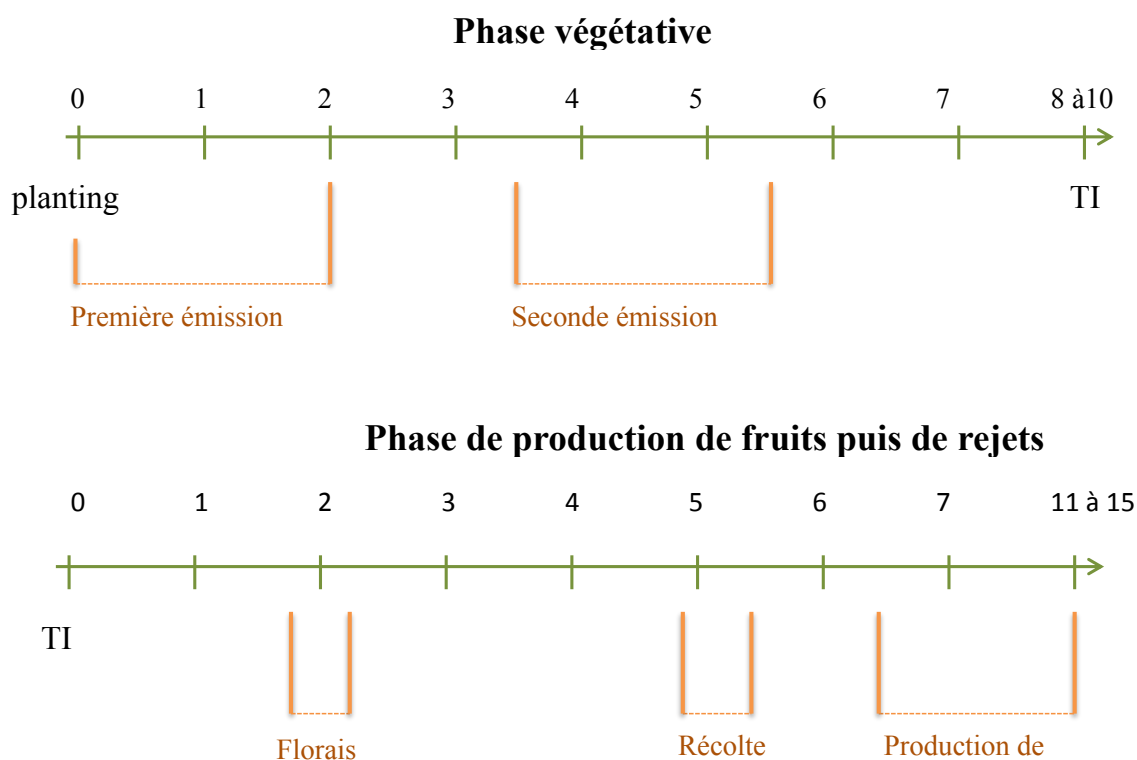


Figure 5 : cycle de culture de l'ananas (PIP, 2009).

Emissions racinaires

L'une des particularités de l'*Ananas comosus* est que son système racinaire se développe en deux étapes durant sa phase végétative :

La première phase d'émission racinaire a lieu entre la plantation et les 2 mois suivant la plantation (KEHE, 1988). Elle correspond à l'émission de racines sur les derniers entre-nœuds de la base du pivot, et ces racines sont susceptibles d'atteindre une bonne profondeur (environ 40 centimètres).

La seconde phase d'émission racinaire débute, dans le cas d'une culture en Martinique, environ 3 à 4 mois après la plantation (ou planting) (SOLER & MARIE-ALPHONSINE, 2007), et correspond à l'émission de racines prospectant l'horizon superficiel du sol. Cette seconde phase d'émission racinaire traduit un potentiel de croissance des plants (KEHE, 1988).

Les deux phases présentées auparavant sont donc des périodes délicates et stratégiques pour une bonne réussite de la culture. Il nous apparaît alors pertinent de souligner qu'il est fondamental de rester vigilant quant à l'état sanitaire du système racinaire, notamment concernant la présence de bio-agresseurs telluriques durant les phases d'émission racinaires. Si le planteur parvient à maîtriser les populations de bio-agresseurs jusqu'à la fin des émissions racinaires, alors pendant la phase productive les plants sont suffisamment vigoureux pour assurer une bonne production. Néanmoins, la production de rejets de bonne qualité en fin de cycle nécessite un système racinaire en bon état. La gestion des populations de bio-agresseurs tout au long du cycle de culture est un des points clés d'une production réussie.

2. Itinéraire technique : justification des pratiques culturales

Nous présentons ici de façon synthétique les grandes étapes de l'itinéraire technique pour un système de culture d'ananas classique à la Martinique. Nous essayons d'apporter ici les éléments qui justifient la mise en œuvre des pratiques culturales et qui représentent les points stratégiques dans l'élaboration d'un bon rendement en culture d'ananas.

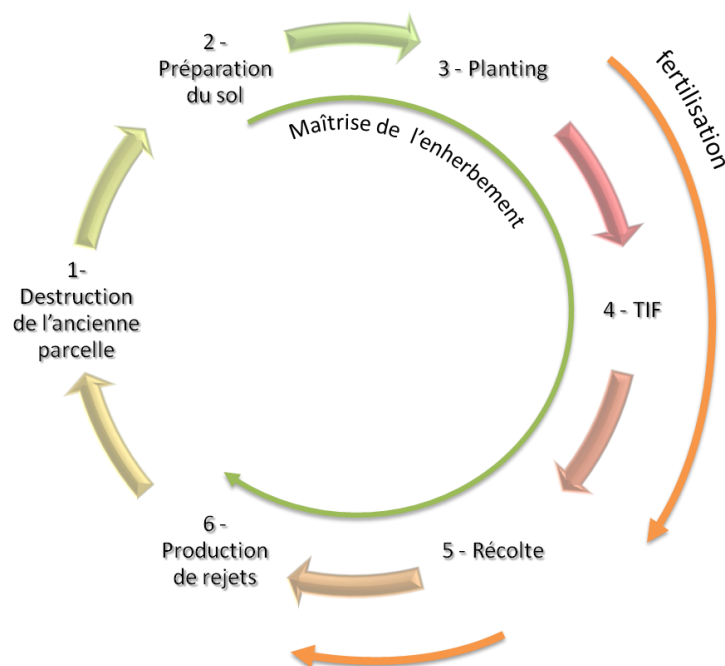


Figure 6 : schéma synthétique des principales opérations culturales de l'itinéraire technique de la culture d'ananas en Martinique (source propre).

Préparation du sol

L'objectif de cette étape est de fournir un sol favorable au développement du système racinaire de l'ananas, c'est-à-dire meuble, bien drainé, homogène sur une profondeur d'environ 40 à 50 centimètres. Il faut éviter les zones de compaction du sol car elles entraînent souvent un arrêt du développement des racines. Le couvert végétal de la culture précédent doit être suffisamment détruit puis enfoui pour permettre un bon développement racinaire, éviter la prolifération de maladies ou de parasites, et assurer une bonne décomposition de la matière organique. Pour cela, il est préconisé de réaliser des passages d'outils à disques, puis de herse à dents ou de rotobèche, bonne alternative aux deux outils cités précédemment, et qui permet d'éviter ainsi les semelles de labour (PY, LACOEUILHE, & TEISSON, 1987).

Enfin cette étape se termine par le passage d'une billonneuse, pour mettre en place les billons qui accueilleront les plants d'ananas. L'objectif est de produire des billons dont le sol est bien aéré, et drainant facilement pour éviter l'accumulation d'eau de pluies, qui pourraient engendrer des problèmes d'asphyxie.

La largeur des billons est fonction de la densité de plantation. Enfin les billons sont recouverts d'un film de polyéthylène (mulch plastique) afin de lutter contre l'érosion des billons, contre l'enherbement. En effet le mulch empêche la croissance des mauvaises herbes, lesquelles meurent rapidement après leur germination. (CABIDOCHÉ, et al., 2005). Enfin l'utilisation d'un mulch noir favorise l'enracinement par augmentation de la température sur le billon.

Plantation (ou planting)

Le planting commence par la sélection du matériel végétal, à savoir la variété, le type de plants (rejets tiges, cayeux ou couronnes), et l'état sanitaire des plants. Le calibrage par tri des plants en fonction de leur poids permet d'assurer un développement homogène de la plantation. Un parage est également préconisé, et consiste à l'effeuillage à la base des rejets, permettant ainsi de découvrir les premières racines et d'éviter les problèmes de pourriture. Enfin le planting est facilité par un piquetage préalable des billons.

Fertilisation

Les besoins d'un plant pour la production d'un fruit frais sont :

- 4 grammes d'azote N
- 1 à 2 grammes de Phosphore P_2O_5
- 8 à 10 grammes de Potasse K_2O
- 2 à 3 grammes de Magnésium MgO

On veillera à respecter les doses de Phosphore et de Potasse par rapport à la fraction massique de ces éléments dans leurs composés oxydés respectifs¹. Il est également important de ne pas excéder les doses prescrites par la Chambre d'Agriculture de la Martinique car cela peut entraîner des problèmes de « surfertilisation », et conduire à des fruits de mauvaise qualité. Le principal objectif de la fertilisation est de respecter un équilibre du rapport entre les apports d'azote et de potasse ($[K_2O/N]$) équivalent à 2 voir 2,5 pour atteindre une bonne qualité de fruit. Enfin les autres éléments minéraux principaux dont il faut assurer la disponibilité pour la culture sont le Magnésium et le Calcium.

Nous avons différencié dans l'étude deux types de fertilisation. La fertilisation en fumure de fond qui consiste à apporter les éléments nécessaires au démarrage de la culture avant plantation. Et la fertilisation que nous nommons « en cours » qui désigne les apports en urée et oxyde de potassium pendant la croissance des plants.

Maîtrise de l'enherbement

La maîtrise de l'enherbement a pour objectif principal de limiter un maximum la compétition entre les adventices et la culture d'ananas sur le plan de la disponibilité en ressources minérales et organiques du sol, ainsi que la compétition pour la lumière et l'eau. Le contrôle des populations d'adventices commence avant le planting, en enfouissant par exemple le couvert d'adventices présent lors du travail du sol. Les stades d'émission racinaire sont les périodes où le producteur doit rester le plus vigilant quant au développement d'adventices. Après le 6^{ème} mois après planting et jusqu'à la production de rejets, la culture d'ananas est relativement moins sensible au développement d'adventices. Cela est notamment justifié par le mulch plastique qui empêche fortement la levée de plantes non désirables.

¹ Pour donner un exemple, la fraction massique élémentaire du potassium est de 83% dans l'oxyde de potassium (K_2O).

Ainsi les producteurs peuvent avoir recours à deux grands types de lutte contre les adventices, qui sont la lutte chimique et la lutte mécanique. Les deux pratiques sont souvent complémentaires dans les pratiques des producteurs. La lutte chimique consiste en l'application selon le respect des doses prescrites de dés herbants chimiques, en Martinique principalement à base de glyphosate. La lutte mécanique correspond à un sarclage effectué en cours de culture entre les billons. La fréquence des dés herbages dépend essentiellement de la vitesse de développement des populations adventices, et du stade de l'ananas dans son cycle de culture.

Maîtrise des maladies et ravageurs

La culture d'ananas en Martinique est exposée aux risques sanitaires liés à la présence de ravageurs, plus exactement de bio-agresseurs et de maladies. Les bio-agresseurs les plus contraignant à l'élaboration d'un rendement correct sont les symphytes, les nématodes et les cochenilles, vecteurs d'un virus de l'ananas appelé wilt. La dissémination du wilt est aggravée par le fait que les fourmis entretiennent et déplacent des colonies de cochenilles, qui sécrètent un miellat dont les fourmis sont friandes. Elle est également accentuée par la présence de nématodes (SIPES, SETHER, & HU, 2002).

Il est possible de lutter contre le wilt par prophylaxie, c'est-à-dire en identifiant et en retirant de la parcelle les plants infectés ou porteurs de cochenilles. Cela évite la propagation du wilt via les cochenilles au sein de la parcelle (Annexe 5). Cela représente une grande attention à porter de la part du producteur, mais si elle est bien effectuée et si les plants infectés sont retirés à temps, les dégâts sont largement diminués.

Les plants d'ananas sont également sensibles aux problèmes de pourriture causés par un champignon, *Phytophthora*, entraînant la mort des plants infectés, mais que les planteurs réussissent à contrôler à l'aide de fongicides.

Traitement d'induction florale (TIF)

La culture d'ananas a la particularité de présenter une opération culturale unique en son genre : l'induction florale. Cette étape consiste en l'induction et la synchronisation de la floraison des plants d'ananas par l'intervention de l'homme. L'objectif de cette étape réside principalement dans la planification du cycle de production, et à terme de la récolte. Cette opération a généralement lieu une fois que le système racinaire de l'ananas est bien développé (entre 8 et 10 mois après le planting), et elle représente la fin de la phase végétative.

Pour induire la floraison, il existe plusieurs méthodes mais la plus utilisée en Martinique est le recours à l'éthrel, dont la matière active est l'éthéphon qui libère de l'éthylène et déclenche la floraison. Cette méthode est la plus simple car contrairement à d'autres traitements, elle peut être réalisée de jour et mécanisée pour les grandes plantations. Avec l'application d'éthéphon, il est souvent conseillé d'ajouter à la solution de l'urée pour améliorer l'efficacité du traitement.

Récolte de fruits frais

La récolte a lieu généralement 5 à 6 mois après la floraison, c'est-à-dire environ 15 à 16 mois après le planting. La date de récolte dépend surtout de la somme de températures accumulée depuis le TIF. De nombreux facteurs peuvent affecter la qualité des fruits, comme la présence de ravageurs (rongeurs et insectes), une insolation trop forte conduisant à un effet « coût de soleil ».

Les fiches techniques sur la culture d'ananas donnent de nombreux conseils sur les dispositions à prendre, mais nous ne préciseront pas ces points ici, car ces pratiques sont plutôt bien maîtrisées par les producteurs martiniquais et apparaissent secondaires pour notre étude. En outre, la récolte nécessite une main d'œuvre conséquente et s'étale souvent sur plusieurs jours. La livraison fait également partie du système de culture puisqu'elle est réalisée par les producteurs.

Production de rejets

Un cycle de culture d'ananas dit « court », c'est-à-dire d'une durée d'environ 24 mois, s'achève par la production de rejets. Cela permet notamment le renouvellement du matériel végétal par voie végétative et permet d'assurer la mise en place de la culture d'ananas suivante. C'est une étape à ne pas négliger car la qualité des rejets destinés à la plantation détermine la productivité des cultures suivantes (PIP, 2009).

Les rejets sont généralement produits par voie végétative après la récolte des fruits. Cependant certains producteurs utilisent également les couronnes, partie feuillue supérieure du fruit. Dans ce cas, retirer la couronne des fruits représente une étape supplémentaire lors de la récolte, et peut souvent poser des problèmes de vente sur les marchés qui exigent des fruits entiers, c'est-à-dire avec couronne, pour l'aspect esthétique.

Le développement des rejets par voie végétative est d'autant plus rapide que le système racinaire de l'ananas est sain, en particulier vis-à-vis des nématodes. La disponibilité en éléments nutritifs joue également un rôle important dans la formation de rejets. Ainsi il est conseillé de réduire l'enherbement, et d'apporter une fumure après la récolte de fruits, où l'azote et la potasse sont généralement apportés à doses égales.

Pour conclure à ce sujet, en 2006, une équipe de chercheurs du CEMAGREF et du CIRAD (SAUDUBRAY, HARRY, MARIE-ALPHONSINE, CROS, & SOLER, 2006) a publié un article sur la typologie à la Martinique des planteurs d'ananas en fonction de l'itinéraire technique. Cela constitue une base de connaissances pertinente pour l'étude, cependant nous ferons remarquer ici que cette typologie a été proposée pour la publication en 2004. Or à cette période le contexte de la filière était bien différent du contexte actuel, puisque la SOCOMOR n'avait pas encore cessé son activité. Le nombre de producteurs était deux fois plus élevé que le nombre de producteurs actuel (un peu plus de 50 en 2004, et 26 en 2012). Ainsi les modes de pratiques décrits dans la typologie répondaient au contexte de production afin d'alimenter la SOCOMOR, alors qu'aujourd'hui le débouché principal reste l'approvisionnement des marchés locaux en fruits frais. Nous avons donc utilisé cette typologie de façon à établir les bases fondamentales de l'itinéraire technique pour la culture d'ananas à la Martinique, cependant nous ne pouvions pas considérer cette typologie comme toujours valable pour notre étude (voir Annexe 4).

3. Des pratiques culturales à améliorer

Quelques freins techniques rencontrés sur le terrain et/ ou dans la littérature :

Le mulch plastique apporte plusieurs avantages pour la culture de l'ananas. Malheureusement, étant composé de polyéthylène, ce type de mulch est non dégradable, et il pose un problème d'environnement car il reste difficile à extraire de la parcelle une fois la culture terminée. Il existe des mulchs dégradables (encore que seulement partiellement), mais leur durée de vie est trop courte sous le soleil tropical (TORIBIO, 1998). En 2012, ceci fait toujours l'objet de recherche notamment en Guadeloupe, et la mise au point d'un film dégradable reste envisageable, aussi bien que la mise au point de techniques mécanisées d'extraction des films en fin de culture.

L'étape de destruction des anciennes parcelles d'ananas pose encore aujourd'hui quelques problèmes techniques, difficiles à résoudre. En effet, il s'agit de détruire les vieux plants afin d'éviter que les maladies et ravageurs ne se développent. Il reste difficile de mécaniser cette opération, car il y a souvent un risque de broyage du mulch plastique et donc la dissémination des débris plastiques dans le sol. Pourtant c'est souvent ce que les producteurs sont obligés de faire. Les conseillers techniques cherchent toujours la solution la plus efficace pour mécaniser cette étape qui ne pourrait s'effectuer à la main, sous peine d'un coup de main d'œuvre onéreux.

Le renouvellement en matériel de plantation : les rejets sains

Comme il a été décrit précédemment, le matériel végétal de replantation détermine la productivité des cultures suivantes. Or les problèmes liés au wilt notamment ne permettent pas d'obtenir des rejets sains, et les planteurs sont souvent confrontés à un problème de disponibilité en rejets. En effet, les dégâts causés par les symphytes, les nématodes et le wilt principalement ne permettent pas aux planteurs d'obtenir suffisamment de rejets sains. Les plants mères sont soit infectés par le wilt, soit de tailles hétérogènes à cause des symphytes et nématodes, si bien que le renouvellement du matériel végétal de plantation, étape clé de la réussite et de la durabilité de la culture, est compromis. Ainsi les planteurs, étant confrontés à un manque ce problème, sont contraints de renouveler leur matériel végétal en rachetant des rejets. Seulement l'approvisionnement en rejets de bonne qualité est un facteur limitant en particulier à la Martinique, notamment à cause de leur prix élevés. Souvent, l'approvisionnement en matériel végétal de plantation sain prend plusieurs mois.

D. Bilan sur les causes du dysfonctionnement de la filière au niveau de la production

Jusqu'en 2007, et dans la zone Europe, il était possible de lutter contre les nématodes et les symphytes via l'utilisation de pesticides et de nématicides. Aujourd'hui le contexte est différent, la plupart de ces pesticides ayant été retirés du marché. La lutte contre ces bio-agresseurs telluriques de l'ananas est de ce fait une étape sensible de l'itinéraire technique, et représente actuellement la principale contrainte agronomique dans l'élaboration de bons rendements.

Jusqu'à présent, les planteurs d'ananas n'avaient pas de stratégie à proprement parler pour pallier au problème des bio-agresseurs telluriques sans l'utilisation des pesticides et nématicides. A cela s'ajoute le problème de disponibilité en matériel végétal de plantation. Ceci explique en partie que les planteurs « gèlent » leurs vieilles parcelles d'ananas en jachère, le temps pour eux de trouver le matériel végétal nécessaire à la plantation d'une nouvelle parcelle, mais aussi en jouant sur le caractère non hôte des espèces végétales de jachère afin de réduire les populations de bio-agresseurs. La pratique de la jachère entre deux cultures d'ananas n'est pas un choix délibéré dans la pratique culturale, mais apparaît plutôt comme une conséquence : elle a justement été préconisée par le CIRAD aux planteurs comme première alternative dans la lutte écologique contre les bio-agresseurs de l'ananas. Le problème apparent d'une telle pratique réside surtout dans le fait que la surface annuelle cultivable en ananas est réduite puisque la période d'efficacité d'une jachère dans la réduction des populations de bio-agresseurs est d'environ 2 ans dans les exploitations Martiniquaises (propos issus d'enquête de terrain).

Le CIRAD propose l'introduction d'un couvert végétal ayant un rôle stratégique dans l'intervalle de temps compris entre deux plantations d'ananas. Il s'agit d'une plante de service : la crotalaire, qui a pour but à la fois d'assainir, d'améliorer le statut organique du sol et d'y maintenir un niveau de biodiversité de la microflore. Ce qui faisait état d'une solution temporaire (mise en jachère) permettant aux planteurs de s'approvisionner en rejets, deviendrait un choix stratégique dans les pratiques culturales du système de culture de l'ananas. Cette voie d'amélioration présente une dimension supplémentaire : elle implique une amélioration de la qualité du support de culture (la qualité du sol) et donc la durabilité du système de culture.

II. Le projet FEADER / CIOM : conception d'un système de culture innovant et transfert technologique

A. Etat de l'art sur la conception de systèmes de culture innovants

1. Méthode de conception et innovations en systèmes de culture

L'innovation technique en agriculture en général et la conception de systèmes de culture font l'objet de publications en termes de méthodologie qui font autorité en la matière. Nous tenterons de présenter de façon synthétique quelques méthodes utilisées dans ce domaine. Tout d'abord, nous proposerons quelques définitions :

« Les innovations techniques en agriculture sont la base des améliorations des systèmes de culture. Elles comprennent aussi bien les innovations sur le plan génétique, comme la création de nouvelles variétés résistantes par exemple, ou la gestion intégrée des maladies, les inter-cultures, de nouveaux types de fertilisation ou de nouvelles rotations de cultures. Les innovations techniques fournissent différents services économiques et écologiques » (BLAZY, et al., 2009).

« L'objectif scientifique de conception, conduite et évaluation de systèmes de culture revient alors à formaliser la démarche qui permettra au final à l'agriculteur de convertir tout ensemble spécifié d'objectifs et contraintes en un ensemble cohérent de règles de décision, et à élaborer les outils qui lui permettront de les mettre en œuvre et de les évaluer » (NOLOT & DEBAEKE, 2003).

Nous nous appuyerons ici sur les travaux bibliographiques réalisés par Jean Marc Blazy dans sa thèse sur la conception et l'évaluation de systèmes de culture innovants. Selon ses recherches, la conception d'innovations et leurs évaluations sont des domaines que l'on peut difficilement traiter séparément. En effet la conception de systèmes de culture fait souvent appel à des évaluations. A l'inverse, les innovations sont souvent conçues à partir d'évaluations déterminant tel levier de développement dans un système de culture. Sachant que cette matière – la conception d'innovations – peut s'étudier selon trois niveaux d'échelles, à savoir la parcelle cultivée, l'exploitation et le territoire, nous ne présenterons ici que le premier niveau d'échelle, qui correspond aux limites de notre travail.

Au niveau de la parcelle, les méthodes sont bien sûr moins nombreuses qu'au niveau territorial. En effet pendant longtemps les expérimentations en milieu contrôlé (serre, micro-parcelle, phytotron) ont été le moyen pour les chercheurs d'évaluer et de concevoir des innovations. Mais il existe aussi un autre type de conception, faisant appel à des essais en conditions « réelles », c'est-à-dire dans des exploitations agricoles. Le plus souvent, soit les chercheurs co-construisent le système de culture innovant avec la participation des agriculteurs volontaires, soit des experts élaborent un prototype qu'ils proposent aux agriculteurs. L'avantage de ces méthodes est qu'elles permettent souvent de bien renseigner sur les performances agronomiques, économiques et le potentiel d'adoption de l'innovation par les agriculteurs. Cependant, ces conceptions et évaluations sont réalisés avec des agriculteurs intéressés et peu nombreux, ce qui peut augmenter le risque de biais pour l'évaluation (BLAZY J. M., EVALUATION EX ANTE DE SYSTEMES DE CULTURE INNOVANTS PAR MODELISATION AGRONOMIQUE ET ECONOMIQUE : De la conception à l'adoption. Cas de systèmes de culture bananiers en Guadeloupe., 2008).

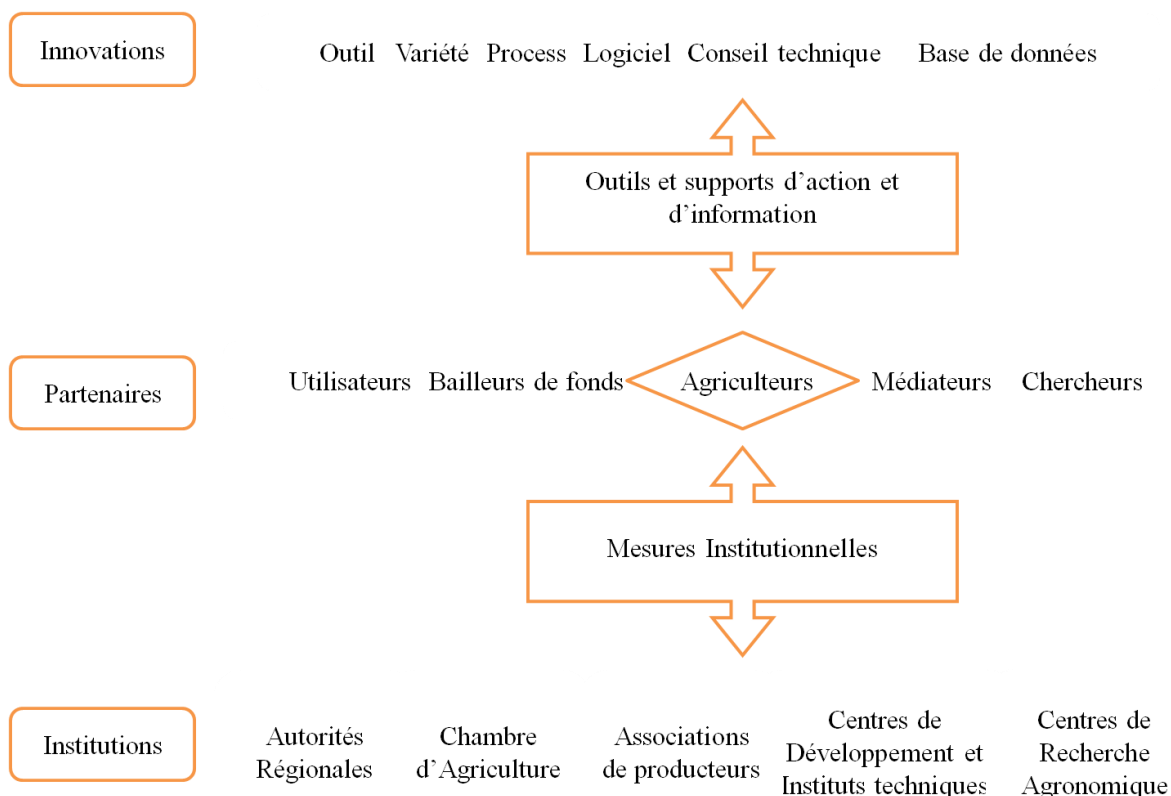


Figure 7 : schéma synthétique des interactions entre innovations, institutions et partenaires (CHAVE, OZIER-LAFONTAINE, & NOËL, 2012)

Le schéma ci-dessus représente les interactions entre acteurs du monde agricoles et leurs interfaces de communication par rapport aux innovations agricoles. Dans le cas de notre étude, les chercheurs du CIRAD ont élaboré « à dire d'experts » un prototype de système de culture dont ils proposent une démonstration. Ce type d'innovation, puisqu'elle concerne une contrainte technique du système de culture de l'ananas, correspond bien à l'échelle de conception et d'évaluation de la parcelle. Pour revenir à notre schéma, cette innovation concernera les premiers temps les chercheurs, les agriculteurs, les conseillers techniques. Une partie de ce schéma n'est pourtant pas tout à fait en phase avec notre étude : les autorités régionales, pourtant décisives dans les mesures institutionnelles. Il s'agit donc bien d'une innovation agricole qui se traite à l'échelle de la parcelle.

Nous pourrions conclure cette petite synthèse par la formulation d'une hypothèse concernant la conception du système de culture dans notre cas.

Hypothèse : la mise en œuvre de services éco-systémiques répond entre autres à ce besoin de gestion alternative des bio-agresseurs grâce à certains traits fonctionnels de plantes de services.

Ce que les experts ont recherché dans ce domaine:

- Des plantes non hôtes à la fois des nématodes et des symphytes
- Une efficacité et une durabilité de l'assainissement par ces plantes de service en rotation avec l'ananas
- La possibilité d'optimiser la gestion des bio-agresseurs en jouant sur la spatialisation des dispositifs de culture.

2. Suivi et évaluation

Tableau 2 : Méthodes d'études de successions de culture (Debaeke).

<i>Intérêts (+) et limites (—) des méthodes d'étude des successions de culture</i>			
Objectifs	Méthodes d'étude		
	Enquête agronomique	Modélisation	Expérimentation
Étudier les effets de la succession des cultures sur la production et le milieu	+ Systèmes pratiqués par les agriculteurs — Systèmes alternatifs sous-représentés — Systèmes flexibles : problèmes d'interprétation et de comparaison — Accès à l'histoire culturelle difficile — Confusion d'effets (sol x succession)	+ Exploration de situations non expérimentées + Décomposition des interactions + Prévission long terme + Suivi plus fin — Limitation par les connaissances (ex. composantes biologiques)	+ Test de systèmes «proto-types» + Comparaison facile (unicité sol/climat) + Support de modélisation — Coût et durée importants — Représentativité faible (milieu, systèmes)
Aider à la construction raisonnée des successions de cultures	+ Décortiquer le processus de décision des agriculteurs . Connaissances mobilisées . Objectifs et contraintes	+ Aide à la décision	+ Test des modèles d'aide à la décision (règles ...) — Étude de flexibilité des choix de successions

Dans le cadre de notre étude, une plante de service entre en interaction avec la culture d'ananas. Le tableau ci-dessus montre les méthodes d'évaluations, leurs intérêts et limites dans le cas de succession de cultures. Cela montre qu'à l'échelle de la parcelle, les expérimentations et évaluations par modélisation permettent bien d'identifier les impacts d'une succession de culture sur la production et le milieu. Cependant ce type d'évaluation et du suivi peu présenter la contrainte d'être long et onéreux à réaliser.

Nous soulignons ici l'importance de construire des modèles d'aide à la décision qui permettent d'évaluer de manière itérative l'innovation. Nous retiendrons alors que le suivi-évaluation paraît adapté au test de systèmes prototypes, bien que ce type d'évaluation ne soit pas représentative de l'ensemble des producteurs d'ananas martiniquais.

3. Adoptabilité

Les agriculteurs sont les principaux destinataires d'une innovation agricole. Cependant qui dit innovation ne dit pas forcément adoption. Ici la définition d'adoptabilité d'une innovation nous paraît étroitement liée à l'échelle d'évaluation de celle-ci. En effet selon que l'on essaye un prototype dans telle ou telle exploitation, avec comme échelle d'évaluation la parcelle cultivée, il apparaît difficile d'établir l'adoptabilité d'une innovation. Cette question ramène aux objectifs et contraintes de l'agriculteur à l'échelle de son exploitation. A partir de cette hypothèse, les agriculteurs ne sont pas égaux face à l'innovation. Cependant une modélisation technico-économique de l'innovation peut permettre de comparer facilement les parcelles cultivées sans tenir compte forcément des types d'exploitation. Les résultats d'une telle modélisation peuvent alors servir de base d'aide à la décision pour les agriculteurs. C'est à partir de tels outils que l'adoptabilité peut être mesurée à l'échelle de la parcelle.

B. L'alternative agro-écologique proposée

1. Caractéristiques botaniques et physiologiques de la crotalaire

Les crotalaires sont des légumineuses de type semi-pérennes, parfois ligneuses selon les espèces, à port dressé et ramifié. Elles sont souvent utilisées dans les régions tropicales comme fourrage, plante de couverture ou encore comme engrais vert (BOSSER, 1956). Les principales espèces qui nous intéressent pour l'étude sont *Crotalaria juncea*, *Crotalaria retusa*, et *Crotalaria spectabilis*. Ces trois espèces ont fait l'objet de multiples recherches dans le domaine de la lutte biologique contre les nématodes, et pour leurs capacités à fixer l'azote atmosphérique via les nodosités présentes sur leur système racinaire, comme chez la plupart des légumineuses. En revanche, les recherches sur la lutte contre les symphytes via ces trois espèces sont moins nombreuses, mais les résultats obtenus par le PRAM depuis quelques temps sur ce sujet montrent *a priori* que ces espèces de crotalaires sont capables de réduire les populations de symphytes à l'échelle de la parcelle. Jusqu'à la fin du stage, aucune publication scientifique n'avait été validée sur ce sujet.

Dans le cadre de la conception du système de culture, ces trois espèces ont été sélectionnées d'après leurs traits fonctionnels, c'est-à-dire que les chercheurs ont établi leur sélection à partir de critères, de fonctions ou de services précis recherchés. Ces services sont présentés ci après.

2. Les avantages agro-écologiques

Assainissement du sol contre nématodes / symphyles

Depuis quelques années, les crotalaires font l'objet d'études sur leur capacité à réduire les populations de bio-agresseurs. Les crotalaires sont qualifiées de plantes non hôtes vis-à-vis de ces bio-agresseurs, c'est-à-dire qu'elles ne favorisent pas le développement de ces populations sur le terrain dans lequel elles sont cultivées. En 2002, Wang *et al.* ont démontré que l'introduction de crotalaires *Crotalaria juncea* entre les cycles de culture d'ananas avait un effet positif sur la réduction de populations de nématodes *Rotylenchulus reniformis* (WANG (b), SIPES, & SCHIMTT, 2002). La crotalaire favoriserait, d'après cette étude, le développement de champignons capables de piéger *Rotylenchulus reniformis*, permettant ainsi un contrôle de ces populations. Dans une étude similaire, Wang *et al.* avaient également décrit le caractère non-hôte de *C. juncea* comme étant capable de maintenir un taux de reproduction de nématodes à un niveau faible, et de ralentir le développement des nématodes femelles. Non seulement cette espèce de crotalaire développe naturellement des champignons piégeant les nématodes, mais elle libère également un composé ayant des effets allélopathiques sur les nématodes durant les premiers jours de sa décomposition dans le sol. Les tissus des parties aériennes d'un couvert de crotalaire enfouis diffusent de la monocrotaline qui s'avère être létale pour les nématodes (WANG (c), SIPES, & SCHMITT, 2001). Concernant les espèces *C. retusa* et *C. spectabilis*, les recherches au PRAM montrent des effets similaires sur les populations de nématodes, aussi bien en couvert végétal (Figure 8) et en enfouissement.

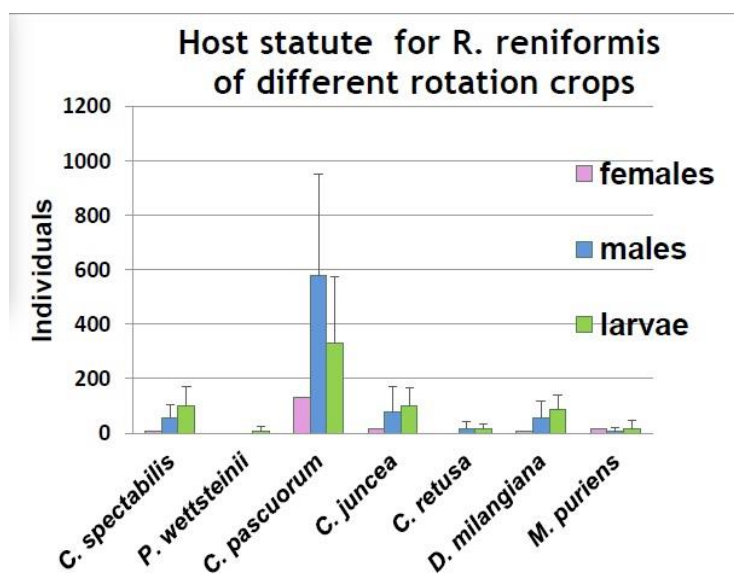


Figure 8 : Evaluation du potentiel de différentes espèces végétales comme culture de rotation (dont *C. juncea*, *C. retusa*, *C. spectabilis*). Expérimentation en serre (Soler *et al.*, 2012).

(WANG (a), SIPES, & SCHMITT, 2002)

Limitation de l'enherbement

La crotalaire *Crotalaria juncea* (ou Sunn hemp) a une croissance rapide et un bon potentiel d'accumulation de biomasse, ce qui fait d'elle une plante convenable comme couvert végétal pouvant limiter l'enherbement. Un tel couvert de légumineuses est capable de fixer l'azote atmosphérique, et est peu voire pas exigeant en entretien jusqu'au moment de sa fauche. Ainsi les crotalaires sont intéressantes par leur bon potentiel de compétition envers les adventices de la parcelle (HEH-SOON CHO, 2010).

Sangakkara *et al* (2006) ont mené des recherches sur les plantes de couvertures, et avaient utilisé la Sunn hemp en tant que jachère dans les systèmes de cultures tropicaux. Il s'avérait que la crotalaire avait parmi les plantes étudiées (Tournesol mexicain, Haricot commun et jachère naturelle), le plus fort taux de suppression d'adventices, 82%, dans leurs essais. Certes ces résultats ne démontrent pas à eux seuls que la crotalaire est capable de supprimer la majorité des adventices des parcelles cultivées, mais sa biomasse importante, en condition de semis relativement dense, offre une compétition pour la lumière remarquable. Enfin Sangakkara *et al* (2006) ont également montré que la culture suivant le couvert de Sunn hemp avait la population d'adventices la plus faible, indiquant un effet bénéfique continu de la Sunn hemp.

Biofumigation

La biofumigation est une méthode culturale qui consiste à assainir un sol vis-à-vis de pathogènes, de ravageurs ou d'adventices par la dégradation d'une plante (MICHEL, 2008). Dans le cas des crotalaires, et bien que des expérimentations soient en cours au PRAM à ce sujet, les *Crotalaria retusa*, *spectabilis* et *juncea* libèrent par leur dégradation dans le sol de la monocrotaline, substance chimique toxique pour les symphytes et nématodes. Cela contribuerait notamment à inhiber l'anhydrobiosis du nématode, et donc le caractère durable d'une infection du sol par ce bio-agresseur (WANG (c), SIPES, & SCHMITT, 2001). Quelques essais de biofumigation au PRAM ont permis de montrer son efficacité, en conditions contrôlées et aux champs. La biofumigation est alors un mécanisme d'assainissement bien différent du statut non hôte des crotalaires lorsqu'elles sont sur pied. Elle permet de lutter contre les bio-agresseurs cibles même après la fauche des crotalaires. Si elle est bien planifiée, c'est-à-dire si on réalise une biofumigation du sol avant plantation des ananas, alors il y a une continuité de l'assainissement du sol au démarrage des plants d'ananas.

Biomasse importante

Les espèces de crotalaire considérées pour cette étude ont pour caractéristique un développement rapide et une accumulation de biomasse importante jusqu'au stade de floraison. Les sources bibliographiques et les observations au PRAM montrent qu'un couvert de crotalaires peut atteindre le stade floraison en l'espace de 3 à 5 mois. Les observations faites en partenariat avec l'institut technique (ITT) ont permis de mettre en évidence le fort potentiel d'enracinement des crotalaires grâce un pivot racinaire pouvant atteindre des profondeurs de l'ordre de 60 à 80 cm de profondeur. Lorsque la crotalaire est enfouie juste avant le stade floraison, la restitution de l'azote est la plus élevée. Sous des conditions de croissance optimales telles qu'elles le sont à Hawaï, et de manière générale dans les Caraïbes, la crotalaire (*C. juncea*) peut produire de 150 à 165 kg/ha d'azote et 7,4 tonnes/ha de biomasse sèche en 60 jours de croissance, à une densité de semis de 40 kg/ha (ROTAR & JOY, 1983). Le tableau suivant vise à synthétiser les données relatives à la production de biomasse par un couvert de *C. juncea* en région Caraïbe.

Tableau 3 : Capacité d'un couvert de crotalaires à fournir de la biomasse sèche et de l'azote. (Données d'expérimentations réalisées en Floride¹ MARSHALL, 2002 et à Hawaï², ROTAR & JOY, 1983)

<i>Minimum</i>	<i>maximum</i>
fourniture en biomasse sèche (tonnes/ha)	
5,9 ¹	7,4 ²
fourniture en azote (kg/ha)	
150,2 ²	164,8 ²
109,8 ¹	140,1 ¹

L'insertion de la crotalaire *Crotalaria sp* dans l'agro-système avait été fortement conseillée, dans le cas d'une production biologique d'ananas en Martinique :

*« Les pratiques culturales diffèrent grandement selon les exploitations. En conduite conventionnelle, les plus petits exploitants sont souvent ceux dont les pratiques s'éloignent le plus des recommandations de la Chambre d'agriculture et du CIRAD, avec peu ou pas de fumure de fond et des apports d'engrais azoté trop élevés. L'utilisation de produits phytosanitaires, notamment l'application de nématicides à la plantation, est courante. En production agrobiologique, l'apport de matière organique (compost, résidus de culture) devra être privilégié, mais la rotation culturale avec la pratique de la jachère verte à enfouir avant plantation (*Vigna sp*, *Crotalaria sp*, *Mucuna pruriens*) devra impérativement être envisagée. »* (QUENEHERVE, et al., 2005)

3. Principe de fonctionnement du prototype de Système de Culture innovant

La conception du système de culture innovant répond au besoin de gestion alternative des bio-agresseurs telluriques par la mise en œuvre des services éco-systémiques fournis par la crotalaire. Il repose notamment sur le caractère non hôte de la crotalaire vis-à-vis des symphytes et des nématodes, et sur l'efficacité et la durabilité de l'assainissement du sol par la crotalaire en rotation avec l'ananas. Etant donné que la durée d'un cycle de culture d'ananas est plus longue que celle d'un couvert de crotalaire, ce système offre la possibilité d'optimiser la gestion des bio-agresseurs par la spatialisation des dispositifs de culture.

Le caractère essentiel de son fonctionnement repose sur le fait que l'on mette en rotation une culture d'ananas après un précédent en crotalaire. Or la durée du cycle de culture d'ananas est plus longue que la durée nécessaire pour obtenir un couvert de crotalaire capable d'assainir le sol en bio-agresseurs. De ce fait s'il est nécessaire qu'un couvert de crotalaire soit enfoui avant la mise en place d'une culture d'ananas, alors il se pose un problème de compatibilité des pas de temps de rotation. Pour contrer ce problème, le système innovant propose la mise en place de culture maraîchère (cash crop) pour optimiser l'espace de temps nécessaire à la synchronisation des cultures d'ananas et de crotalaire.

L'innovation repose donc sur une gestion de la sole différente des systèmes de culture actuels en ananas. Elle se présente sous la forme de bandes d'ananas alternées avec des bandes de maraichage suivie d'une couverture en crotalaire.

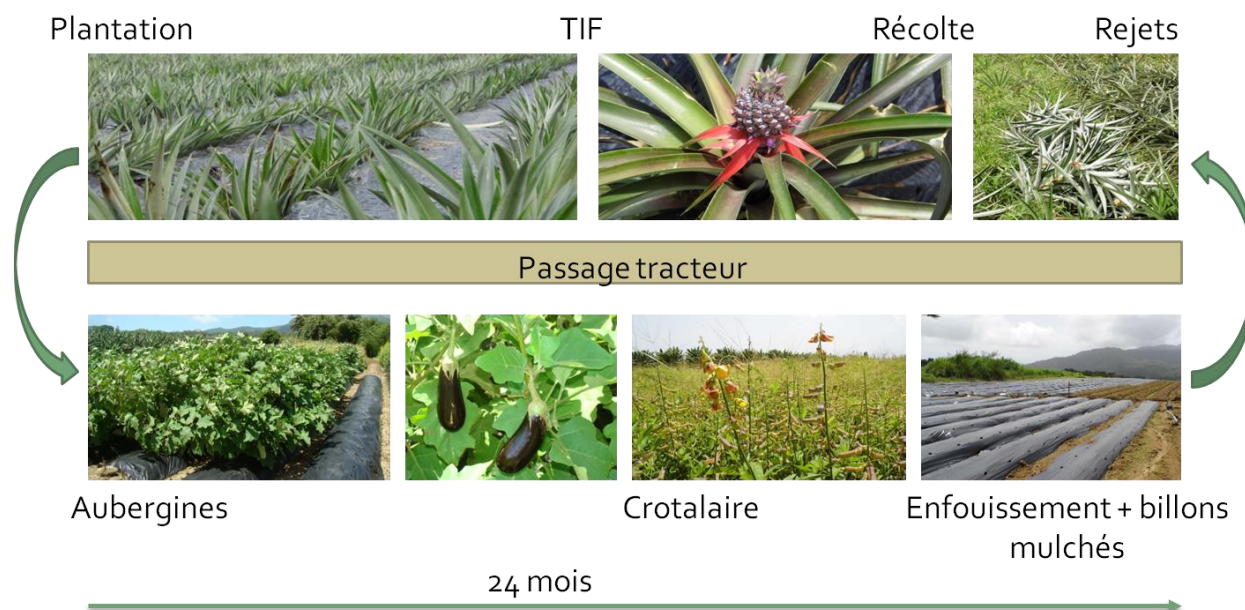


Figure 9: Système de culture ananas innovant conçu par l'équipe du projet FEADER/CIOM

Comme le montre la Figure 9, le système comprend l'alternance d'une bande d'ananas d'une durée de 24 mois comprenant une récolte de fruits et une récolte de rejets, et d'une bande cultivée en maraichage pendant les 18 premiers mois, et en crotalaire pendant 4 à 5 mois. Le dernier mois sur cette bande, la crotalaire est fauchée puis enfouie. Il correspond au temps de bio-fumigation. La bande est alors préparée en billons mulchés pour recevoir une nouvelle culture d'ananas. Au terme des 24 mois, on effectue alors la rotation des deux bandes.

On remarquera qu'il ne s'agit pas d'une simple rotation de culture mais d'un agencement spatial et temporel de la parcelle cultivée bien différent des systèmes de culture d'ananas actuels. Selon ce prototype, la parcelle est alors organisée en bandes fonctionnant deux à deux. La largeur des bandes correspond à la largeur qu'un pulvérisateur tracté puisse couvrir de part et d'autre de la bande de manière à ce que tous les billons d'ananas puissent être traités. Cet agencement offre un avantage supplémentaire ; les bandes cultivées en ananas étant séparées par une bande « jumelle » en crotalaire et /ou maraichage, la propagation des maladies telles que le wilt est censée être freinée. De plus la prophylaxie y est rendue plus facile si le producteur visite régulièrement ses bandes.

Les cultures maraîchères (ou cash crop) proposées dans ce prototype étaient principalement la culture de dachine (ou chou de Chine), l'aubergine, la patate douce ou encore l'ignam. Nous avons fait le choix de ne pas présenter l'itinéraire technique propre à chacune de ces cultures. Les résultats de l'itinéraire technique pour une culture en aubergine sont donnés en annexe (Annexe 13).

C. Cadre des contraintes liées au transfert

1. Analyse des synergies et antagonismes au regard de l'itinéraire technique

Pollution à la chlordécone et compatibilité des cultures

Le système de culture innovant propose l'insertion d'une culture maraîchère sur les bandes jumelées. A la Martinique, l'une des problématiques aggravantes en agriculture est la pollution persistante des sols à la chlordécone, un insecticide organochloré retiré du marché mais aussi un agent potentiellement cancérigène. Beaucoup de sols sont contaminés par la chlordécone, et seules certaines espèces végétales sont cultivables sur ces sols sans qu'il y ait de risques au niveau de la consommation par l'homme. L'ananas fait partie de ces espèces, car on ne retrouve pas de traces de chlordécone dans le fruit si le plant a été cultivé en zone contaminée. D'autres cultures sont sensibles à cette pollution. Les plantes adsorbent la chlordécone par le système racinaire puis la molécule vient s'accumuler dans les organes végétaux, dont les fruits (CABIDOCHÉ & LESUEUR-JANNOYER, 2011). La mise en place de cultures maraîchères est donc à confronter soigneusement avec la compatibilité du terrain selon s'il est contaminé ou non en chlordécone (LESUEUR-JANNOYER & FERNANDES, 2007). Les cucurbitacées sont par exemple des plantes incompatibles à la culture sur sols contaminés à la chlordécone.

Mesures prophylaxiques

La spatialisation en bandes est avantageuse au regard des mesures prophylaxiques. Elle réduit notamment la propagation rapide d'une maladie en offrant des barrières naturelles que sont les bandes jumelées. La fragmentation du parcellaire en bandes alternées doit inciter le producteur lorsqu'il intervient dans les bandes de maraîchage, à intensifier la prophylaxie, et donc la vigilance vis-à-vis de l'expansion de maladies (wilt, *Phytophthora*).

Cependant, en spatialisant ainsi la parcelle, les pratiques des producteurs sont modifiées. En pratique, cela peut également être perçu comme une multiplication des interventions dans la parcelle cultivée, et donc comme une complexification de la logistique du matériel agricole. Pourtant la prophylaxie est indispensable si le producteur souhaite limiter un maximum ses pertes.

Introduction d'espèces non endémiques

Un tel système de culture fait appel à l'introduction de la crotalaire à la Martinique, espèce non endémique de l'île. D'un point de vue écologique, nous pouvons soulever la question de la pertinence d'introduire des espèces dans un milieu insulaire. Il n'est pas certain que ce système soit sans retombées écologiques sur l'écosystème et le milieu. Cependant, la crotalaire est cultivée en Martinique depuis quelques temps déjà, et nous n'avons pas trouvé d'articles indiquant les espèces de crotalaires choisies comme étant potentiellement invasives.

Enfin l'itinéraire technique de l'ananas reste inchangé dans ce système innovant, si ce n'est qu'une étape de fauche des crotalaires apparaît indispensable avant la plantation des ananas, et correspond à la phase de biofumigation.

2. Inflexions techniques à prévoir

Maîtrise de la culture de la crotalaire

Aujourd'hui il n'est pas facile de se procurer des semences de crotalaire en grandes quantités à la Martinique, compte tenu du peu de producteurs en achetant. Pour se fournir en semences, les commerciaux achètent des graines au Brésil. La livraison demande donc un certain délai. D'autre part, les lots de semences contiennent un certain pourcentage de graines impropres à la germination (graines cassées). Il est possible de contourner ce biais en prévoyant une densité de semis légèrement plus élevée que celle préconisée, soit environ 25 kg/ha.

Le cycle de la plante ainsi que son maintien en couvert ne sont pas encore tout à fait maîtrisés par les producteurs. L'un des problèmes est de réussir la succession de la fauche des crotalaires et le planting des ananas pour une optimisation de la biofumigation. Il est donc impératif de préparer le matériel végétal nécessaire (les futurs plants d'ananas) afin de ne pas retarder l'étape du planting. En effet, la biofumigation permet une continuité de l'assainissement des parcelles après la fauche des crotalaires, mais nous avons vu sur le terrain que l'approvisionnement en rejets posait parfois problème, et pouvait atteindre des retards de plusieurs mois. Nous l'avons vu précédemment, la biofumigation serait pertinente surtout au moment des émissions racinaires des ananas, afin que ceux-ci soient suffisamment résistants.

3. Expérimentations systèmes et scientifiques à co-construire avec les planteurs

Bien que le prototype testé chez les planteurs soit conçu à dire d'experts, il reste quelques aspects scientifiques à vérifier, ou à chercher. Ici nous proposerons rapidement quelques expérimentations qui pourraient conduire à une amélioration globale du système de culture innovant.

La crotalaire serait capable de favoriser le développement de mycorhizes. Ce potentiel mycorhizogène serait favorable à une induction de mécanismes (activation d'enzymes) de défense du système racinaire de l'ananas contre les attaques bactériennes. Malheureusement, peu de résultats valident ces propos. L'une des expérimentations à développer dans le cadre de la démonstration serait justement de mesurer le potentiel de mychorization du sol par la crotalaire. Il existe des méthodes de dilution de sol pour mesurer ce potentiel en condition contrôlée (laboratoire). Il serait également intéressant de profiter des parcelles de démonstrations pour collecter des données de terrain et les confronter aux résultats de laboratoire.

Les techniciens se posent encore des questions sur le caractère non bio-dégradable des mulchs plastiques. En Guadeloupe, des recherches sont menées sur une matière bio-dégradable capable de résister suffisamment longtemps aux intempéries pour assurer ses fonctions en tant que mulch. Durant la période stage, nous avons commencé de tester un mulch papier provenant de Guadeloupe, que nous avons mis au sol au moment de la plantation d'une parcelle de démonstration. Il serait intéressant de suivre l'évolution de cet échantillon de mulch afin de prononcer un avis sur la faisabilité des mulchs papiers.

La première partie du stage a consisté en la mise en place de parcelles de démonstration ainsi que la mise en place d'un système de suivi du projet. La démonstration s'étendant sur une échelle de temps assez longue et nécessitant plusieurs années, nous proposons d'étudier dans un second temps l'impact de l'innovation selon les méthodes d'évaluation *ex ante*.

III. Etude de l'impact de l'innovation technique sur les performances des systèmes de culture de l'ananas

A. Méthodologie

Notre travail s'est organisé selon des étapes successives que nous décrivons par la suite : recherche bibliographique, mise en place des parcelles de démonstration, mise en place d'une méthode de suivi de la démonstration, puis conception d'un modèle d'évaluation *ex ante* du système de culture proposé.

1. Recherche bibliographique

Une partie du stage a consisté à capitaliser les informations pertinentes nécessaires d'une part à la compréhension des systèmes de culture actuels d'ananas en Martinique, et d'autre part sur les impacts potentiels de l'introduction d'une plante de service dans ces systèmes de culture. La conception d'un modèle d'évaluation *ex ante* repose sur le fait que l'on cherche à évaluer le système de culture proposé avant même d'avoir des résultats finaux de la démonstration. Cela demande de disposer de suffisamment de données, notamment bibliographiques, sur les capacités de la crotalaire en termes de performances agronomiques, environnementales et économiques. Ces recherches bibliographiques visaient surtout à compléter les résultats obtenus par le PRAM via ses recherches en station expérimentales et aux champs.

2. Mise en place des sites de démonstration

Choix des sites

La mise en place de parcelles de démonstration chez des producteurs a nécessité au préalable une phase de sélection des sites de démonstration, en l'occurrence des exploitations ayant déjà un système de production orienté sur la culture d'ananas. Nous rappelons que seuls 26 exploitations continuent de produire de l'ananas à la Martinique. Nous avons établi les critères de sélection en fonction d'abord de la motivation du producteur à tester l'innovation. En effet, le comportement des producteurs vis-à-vis d'une innovation joue un rôle important. Des recherches sur ce sujet ont montré que certains agriculteurs se positionnent comme des « leaders » dans l'adoption d'innovation (DIEDEREN, van MEIJL, WOLTERS, & BIJAK, 2003). Nous soulignons le fait que le comportement identifié comme « leader » est, d'après cette étude, indépendant de la taille de l'exploitation ou des parts de marché de l'exploitation. Par une approche anthropologique du comportement des adoptants d'une innovation, Jean Pierre Olivier de Sardan écrivait même, à propos de la diffusion d'une innovation dans le contexte agro-pastoral, que l'on pouvait distinguer les pionniers, des innovateurs, de la majorité précoce, de la majorité tardive puis des retardataires. Il décrivait d'après la recherche, les variables identifiant les pionniers ou innovateurs, dont l'une est la participation à la vie associative plus remarquable que chez les adoptants plus tardifs (OLIVIER de SARDAN, 1997).

Cela traduit l'idée qu'un producteur lié à des réseaux d'informations reste *a priori* plus ouvert à l'innovation qu'un producteur totalement indépendant. Ces variables ont été identifiées à partir de groupes d'agriculteurs dans le cadre de plusieurs études, toutefois cela ne permet pas d'établir de façon certaine une relation de cause à effet entre vie associative et volonté d'innover.

Nous avons donc principalement orienté nos propositions aux planteurs membres du réseau « DEPHY » à la Martinique. Parmi eux, 4 à 5 planteurs, dont le président de l'un des groupements de producteurs d'ananas (Ananas Martinique) ont porté un réel intérêt à tester le système de culture innovant. La sélection de sites de démonstration ne s'est donc pas faite à partir d'un nombre représentatif d'exploitations cultivant l'ananas à la Martinique, mais plutôt sur la volonté d'essayer le système de culture innovant, rejoignant ainsi l'idée d'un comportement pionnier par rapport à l'innovation proposée pour le transfert de technologie. D'autre part des enquêtes semi-directives réalisées dans le cadre de l'évaluation permettent de renseigner sur l'itinéraire technique relatif à chaque producteur afin de caractériser le cadre technique de la démonstration sur chaque site.

Choix des modalités de démonstration

Le système de culture innovant présenté dans la partie précédente reste un prototype théorique créé « à dire d'experts ». Afin de répondre au mieux aux besoins et attentes des planteurs qui ont accepté de tester l'innovation dans le cadre du transfert de technologie, des déclinaisons de ce système théorique ont été proposées sous 2 modalités :

Modalité 1 : Mise en place du système complet respectant le prototype théorique, à savoir la rotation de bandes alternées d'ananas et de bandes de maraîchage suivi d'un couvert de crotalaire.

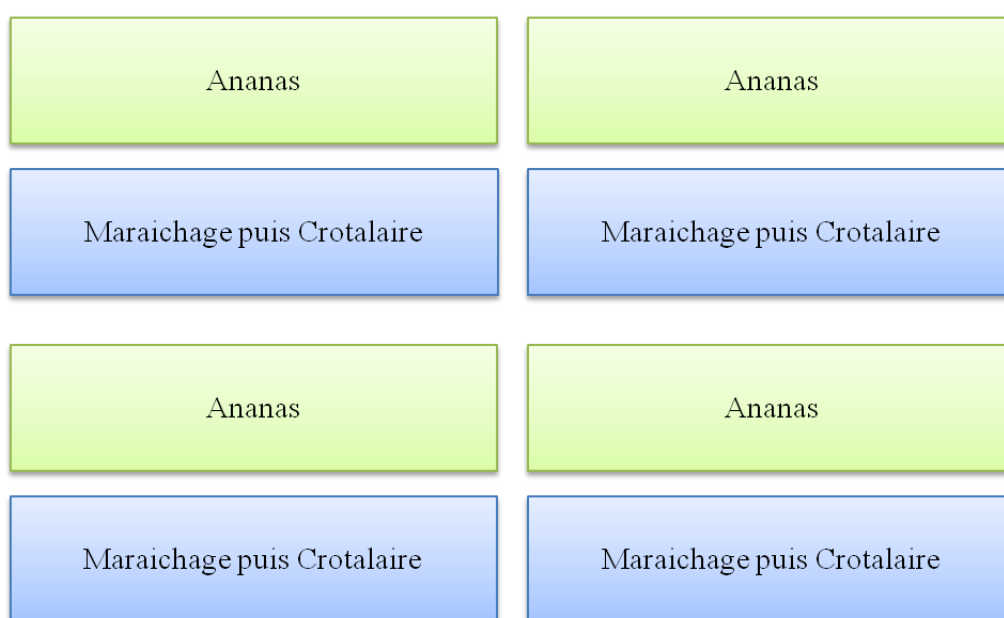


Figure 10 : schéma du parcellaire de démonstration sous la modalité 1 (source propre).

Modalité 2 : Pour les planteurs ne désirant pas introduire de maraichage dans leur système de culture, nous leur avons proposé de démontrer les services fournis par la crotalaire en tant que précédent cultural pour une culture d'ananas. Pour ce faire, la démonstration consiste à mettre en place simultanément une bande de culture d'ananas et une bande semée en crotalaire. Cette dernière, une fois la crotalaire fauchée et enfouie, peut ainsi être plantée en ananas.

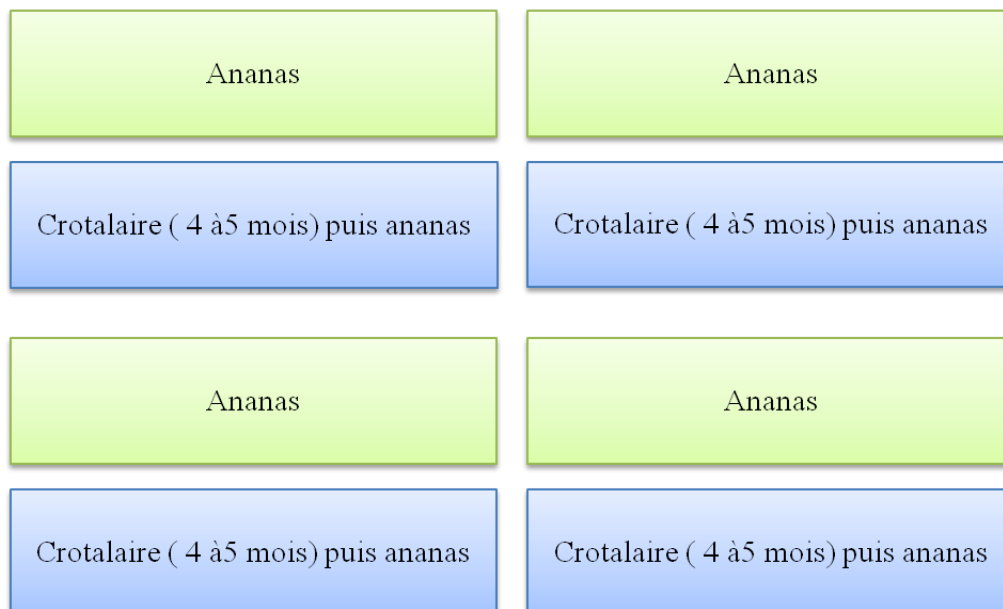


Figure 11 : schéma du parcellaire de démonstration sous la modalité 2 (source propre).

Remarque : dans le cas de la modalité 1, le cycle de rotation s'étend sur une période de 24 mois, au terme desquels les bandes sont alternées. Dans le cas de la modalité 2, les cycles d'ananas sont décalés d'une période de 4 à 5 mois, correspondant au temps nécessaire pour que le couvert de crotalaires atteigne le stade de floraison. Les bandes d'ananas sont alors décalées dans le temps. Sous la modalité 2, c'est principalement le trait fonctionnel d'assainissement de la crotalaire contre les bio-agresseurs que l'on cherche à démontrer.

3. Méthode de suivi des sites et conception d'un modèle d'évaluation

Suivi des parcelles de démonstration

L'autre mission principale du stage était de mettre en place un suivi des parcelles de démonstration. Les objectifs du suivi sont :

- de pouvoir restituer les conditions de déroulement de la démonstration,
- d'évaluer ainsi son efficacité,
- de mettre en évidence les leviers et freins au transfert de technologie,
- d'évaluer la durabilité du système innovant proposé.

Ces objectifs ne pouvaient être atteints que partiellement étant donné la durée de la démonstration, correspondant à un ou plusieurs cycles de culture d'ananas. Nous avons alors choisi des indicateurs de suivi et des outils de pilotage pouvant répondre aux objectifs précédents. Nous avons choisi des indicateurs à l'échelle de la parcelle et pouvant être mesurés et transférés sur plusieurs années sur des modalités différentes de démonstration, en suivant les méthodes de conception et d'évaluation de système de culture pratiquées au PRAM (LESUEUR-JANNOYER & FERNANDES, 2007).

Le choix des indicateurs

Nous avons, dans un premier temps, choisi des indicateurs agronomiques afin de suivre l'évolution des parcelles de démonstration. A partir de ces indicateurs nous avons réalisé un planning des prélèvements de données afin d'obtenir les différents indicateurs. Nous présentons en annexe un tableau rassemblant les indicateurs sélectionnés pour le suivi des parcelles (Annexe 6). Parmi ces indicateurs, nous en définirons un particulièrement, les autres apparaissant plutôt clairs de par leur appellation. Il s'agit d'un indicateur souvent utilisé par les chercheurs en culture d'ananas : la feuille "D".

La feuille "D" est la plus jeune des feuilles adultes du plant d'ananas. C'est la feuille la plus grande et elle pousse à environ 45 degrés d'inclinaison par rapport à la surface du sol (DA SILVA SOUZA & REINHARDT, 2007). D'un point de vue physiologique, elle est aussi la plus active. Elle est classiquement utilisée comme indicateur de croissance car son poids est corrélé au poids du plant et du fruit. La date d'induction florale est déterminée en fonction du poids de cette feuille (SOLER, DUBOIS, & FOURNIER, 2010).

Afin de restituer au mieux les conditions de démonstration, nous avons effectué des profils pédologiques avec analyse de sols. Cela fournira un élément supplémentaire de comparaison entre les sites de démonstration, et permettra de connaître, si besoin est, l'état initial des sols. Ces données auront leur importance dans l'exploitation des résultats *post* démonstration (Annexe 8).

Conception d'un modèle d'évaluation *ex ante* du système de culture innovant

Une fois les parcelles de démonstration mises en place, nous avons entrepris la conception d'un modèle d'évaluation *ex ante* de l'innovation, pour d'une part prévoir quantitativement les impacts et les performances d'un tel système. Pour chaque modalité, le modèle prévoit des scénarii différents de performances du système, basés sur les capacités de la crotalaire à assurer ses services.

D'autre part le modèle vise à proposer aux planteurs testant le système innovant des modifications du modèle de base. En effet, par une évaluation des données en *ex ante*, en temps réel, puis en *ex post*, permettra d'améliorer progressivement le système de culture innovant de base ainsi que les modalités qui en découlent.

4. Modélisation conceptuelle des systèmes de culture d'ananas testés

Une modélisation conceptuelle d'un système de culture est une méthode qui consiste à représenter de façon schématique les flux auxquels on s'intéresse au sein d'un système de culture. Cela permet de mieux comprendre les interactions entre les différentes parties du système.

Nous avons voulu donner une modélisation conceptuelle récapitulant l'essentiel de ce que nous avons vu dans les parties précédentes (Figure 12). Nous avons représenté un environnement actif, qui rassemble les composantes ayant une influence sur la parcelle cultivée d'ananas. L'environnement opposé représente les composantes qui sont influencées par la parcelle cultivée. On retrouve dans ce système un schéma de type interactions « sol – climat – plante » comme il est courant de le représenter en agronomie.

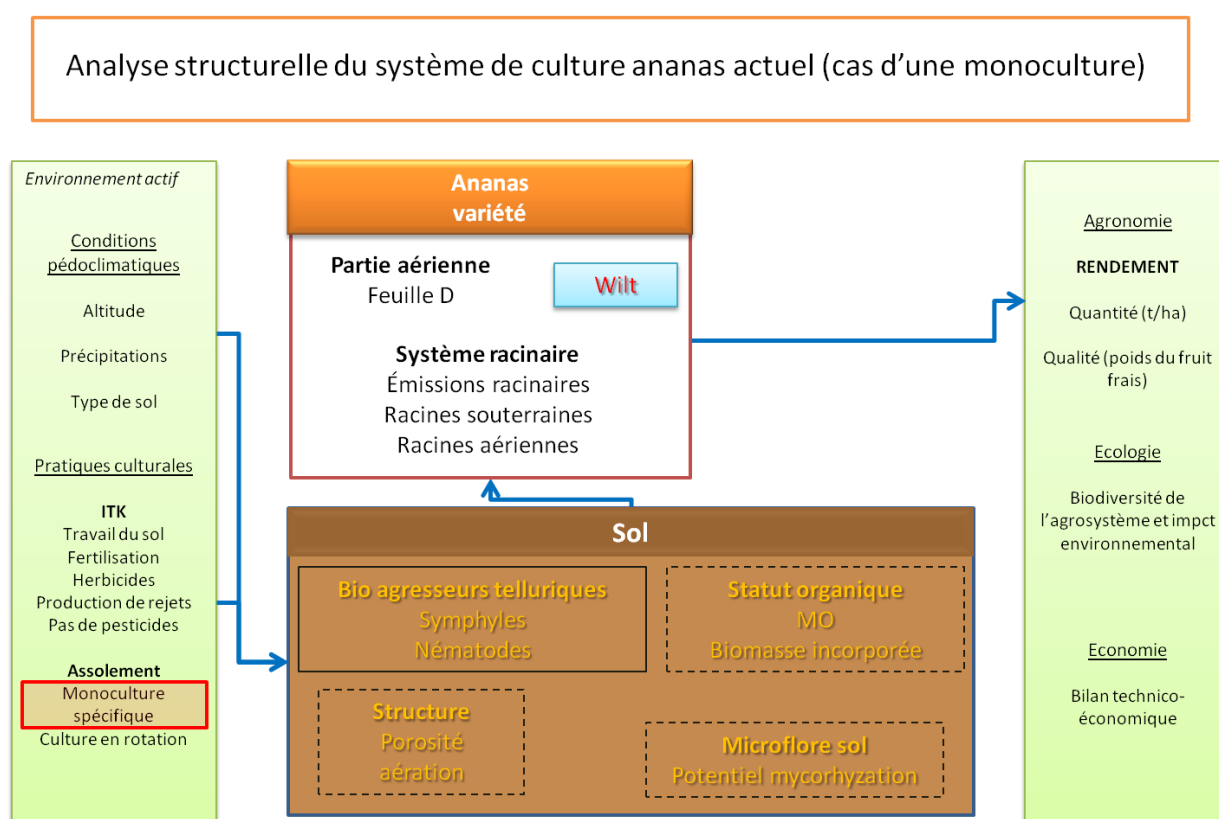


Figure 12 : schéma conceptuel d'un système de culture représentatif des systèmes de culture de l'ananas pratiqués à la Martinique

Ce choix de représentation du système de culture montre un système de culture d'ananas à la Martinique en culture conventionnelle, telle qu'elle est pratiquée depuis l'année 2007 par les producteurs. Nous verrons par la suite que cette modélisation peut être utile pour anticiper les interactions dues à l'introduction de la crotalaire et/ou d'une culture maraîchère dans le système de culture à l'échelle de la parcelle cultivée.

B. Analyse fonctionnelle des systèmes de culture testés

1. Modélisation fonctionnelle

Nous avons réalisé au cours du stage un outil d'évaluation *ex ante* sur la base du logiciel Excel. Ce classeur est organisé de façon à collecter des valeurs d'entrées, à les traiter et à en sortir des indicateurs *ex ante* permettant d'escompter les performances agronomiques et technico-économiques du prototype.

Paramètres d'entrées du modèle

Dans un premier temps, le modèle demande des informations sur l'itinéraire technique : celui-ci est décomposé en opérations techniques détaillées par modalités techniques, elles mêmes détaillées en quantités d'intrants et quantités de travail sous forme d'emploi de main d'œuvre ou de moyen mécanisés. C'est la collecte de données la plus fastidieuse pour ce modèle, car elle demande un entretien avec chaque producteur pour établir de façon détaillée son itinéraire technique.

Paramètres sur le rendement :

Ensuite, pour imiter des conditions réelles de culture, le modèle simule des taux de perte sur la production, exprimé en pourcentage de rendement. Il est également possible de rentrer les tarifs annuels de vente de l'ananas en frais. Nous avons fait le choix de ne pas trop nous attarder dans ses paramétrages car cela risquerait de faire perdre de l'intérêt à la modélisation, à savoir une lecture facile, bien que résultant de calculs complexes.

Paramètres sur la crotalaire

Enfin l'étape finale est une simulation de l'introduction d'un couvert de crotalaire et les impacts que celui-ci peut avoir sur les paramètres de sorties tels que les coûts de production, la marge brute, et le rendement. Les paramètres choisis tirés de la bibliographie (cf la partie c)III.B.1.c)

L'évaluation *ex ante* est critiquable également sur le fait qu'on propose un modèle prenant en compte les paramètres d'entrée à l'échelle de la parcelle, sur un cycle de culture de 24 mois. Cela soulève un premier problème car cette modélisation ne tient pas compte de l'assolement. En effet, le système de culture est conçu en prévision d'une spatialisation des cultures d'ananas relativement différente de celle actuellement pratiquée. Les surfaces effectivement cultivées en ananas paraissent réduites de moitié par le système de culture en bandes alternées, pourtant cela n'est pas forcément vrai car comme nous l'avions mentionné auparavant les planteurs sont souvent contraints de geler les parcelles trop infectées par les bio-agresseurs (cf. p 24). Ainsi, jusqu'à aujourd'hui, ils n'utilisent pas toute leur surface dédiée à la culture d'ananas d'une année à l'autre. L'outil élaboré durant le stage ne prend pas en compte cet aspect de l'innovation et ne permet pas de modéliser les changements liés à cette nouvelle spatialisation des parcelles. Pourtant il serait pertinent de le faire évoluer en y intégrant une méthode de calcul qui puisse simuler la nouvelle configuration spatiale du système de culture innovant et qui permette de comparer les charges et marge brute avec celles de la configuration spatiale actuelle. Pour ces raisons, nous n'avons pas pu élaborer d'un seul tenant un modèle aussi complexe dès le début.

En revanche, une modélisation conceptuelle des scénarii de rotations sur plusieurs années nous permet d'entrevoir les changements d'assolement avec la mise en place du système de culture innovant.

a) Analyse théorique de l'impact de l'innovation

Nous pouvons revenir désormais sur la modélisation conceptuelle. Celle-ci schématise ce que le modèle sous Excel calcule. Une telle modélisation *ex ante* va permettre de prédire et d'anticiper les valeurs possibles (mini, maxi) des paramètres précédents, et donc poser les limites du prototype de système de culture.

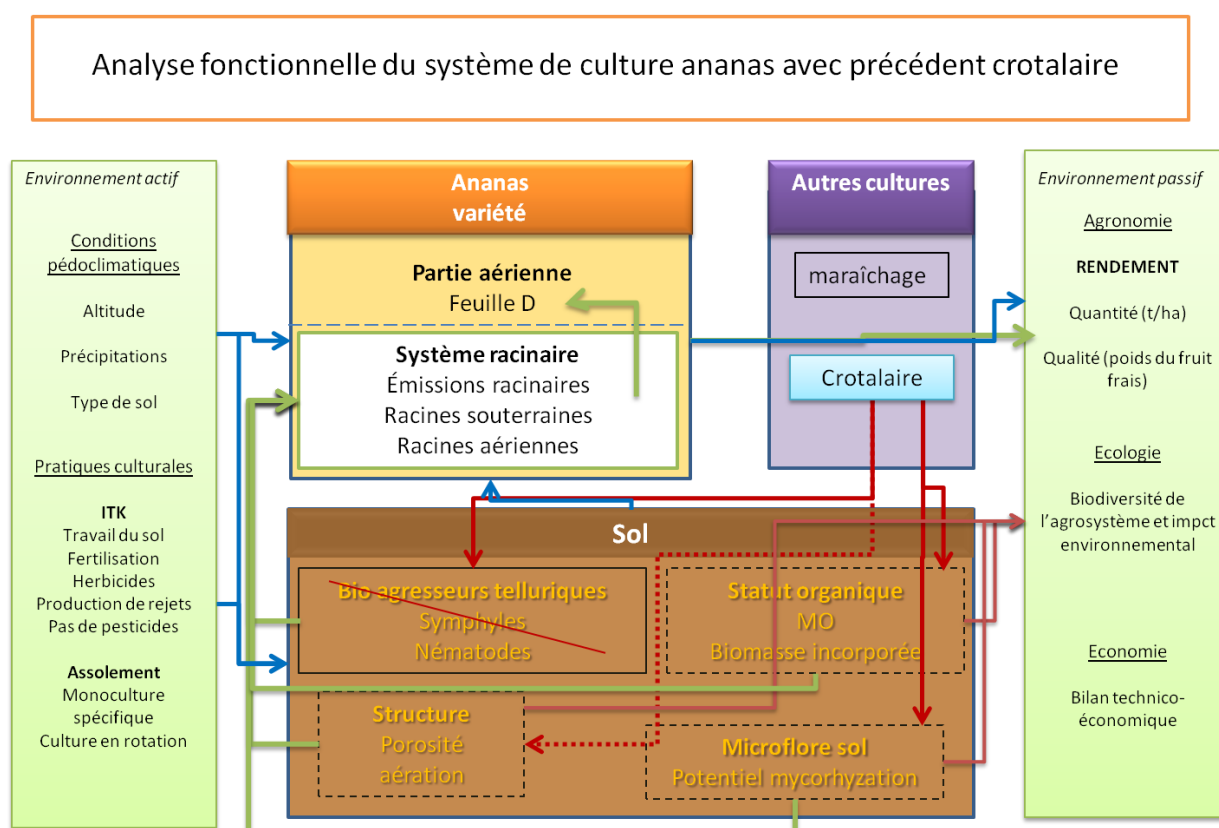


Figure 13 : schéma conceptuel des impacts agronomiques, économiques et écologiques des services fournis par l'introduction d'un couvert de crotalaires en rotation dans le système de culture de l'ananas, à l'échelle de la parcelle.

Le schéma ci-dessus montre différents impacts ; agronomiques, technico-économiques et environnementaux. Il est à titre d'exemple, et pourrait avoir un aspect un peu différent suivant la parcelle que l'on traite

En bleu, sont représentés les impacts liés à l'environnement actif. Sous Excel cela correspond aux taux de pertes à cause des facteurs climatiques par exemple.

En rouge sont représentés les impacts et performances d'un couvert de crotalaire sur les composantes du sol,

Qui eux-mêmes influencent (en vert), les paramètres de la culture d'ananas.

On trouvera par exemple les impacts environnementaux (indicateur de réduction du recours au glyphosate sous Excel), agronomiques (réduction potentielle du temps de désherbage ou sarclage) à discuter et économique : réduction des coûts et surtout impact agronomiques et économiques, comme la diminution des pertes de rendement dues à la baisse démographique des bio-agresseurs par assainissement.

b) Résultats d'enquêtes : Analyse technico-économique des performances actuelles des systèmes

Nous présentons ici les résultats issus de l'évaluation *ex ante* de deux des producteurs ayant essayé le prototype. L'un a choisi la modalité du prototype sans maraîchage (plantéur 1), l'autre a choisi la modalité complète (Plantéur 2). Nous avons choisi ne pas présenter leurs caractéristiques d'exploitation, d'une part pour des raisons de confidentialité, et d'autre part afin de conserver un regard analytique à l'échelle de la parcelle cultivée.

Répartition des coûts en monoculture d'ananas

L'analyse de la répartition des coûts est pertinente dans le sens où la modification du système de culture par l'introduction d'une plante de service engendre des modifications sur la conduite de la culture (réduction potentielle des temps de travaux, des intrants à fournir, grâce aux services rendus par la crotalaire. C'est dans ce but que le modèle cherche à détailler ces coûts.

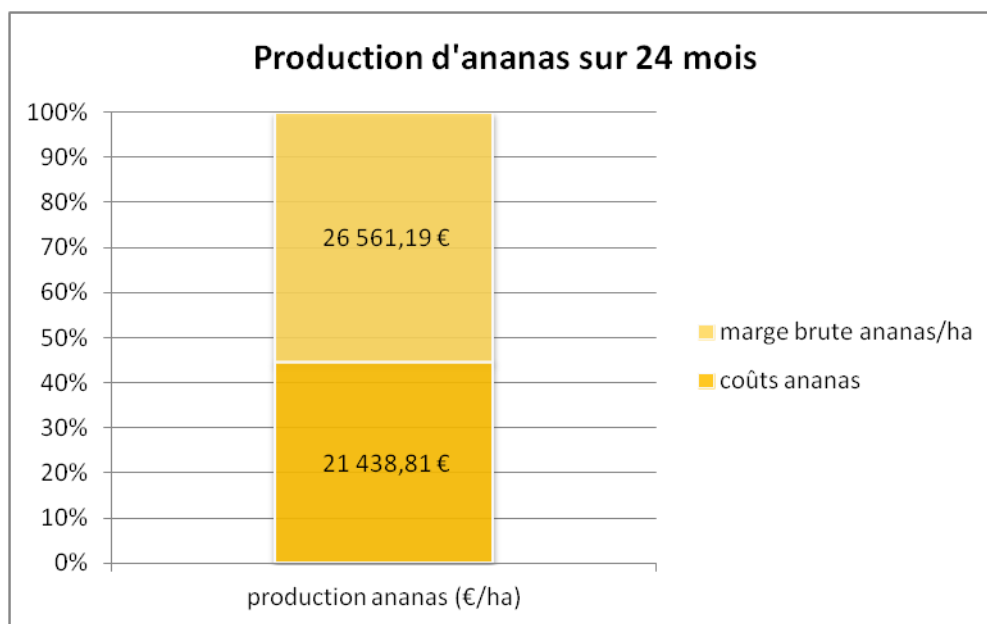
Tableau 4 : Répartition des coûts par opération culturale en système de culture ananas actuel chez les plantéurs 1 et 2 (source propre).

Opérations	Coût par hectare (en €)			
	Plantéur 1	%	Plantéur 2	%
Destruction vieille parcelle	936 €	3%	450 €	2%
Travail du sol	960 €	3%	500 €	2%
Amendements	675 €	2%	386 €	2%
Planting	6 025 €	21%	4 265 €	20%
Fertilisation	3 305 €	12%	2 052 €	10%
Désherbage	1 553 €	5%	822 €	4%
Fongicide	880 €	3%	200 €	1%
Hormonage - TIF	154 €	1%	240 €	1%
Récolte	2 074 €	7%	3 456 €	16%
Autres frais	271 €	1%	469 €	2%
Achat Rejets	11 893 €	41%	8 250 €	39%
Total	28 724 €	100%	21 089 €	100%

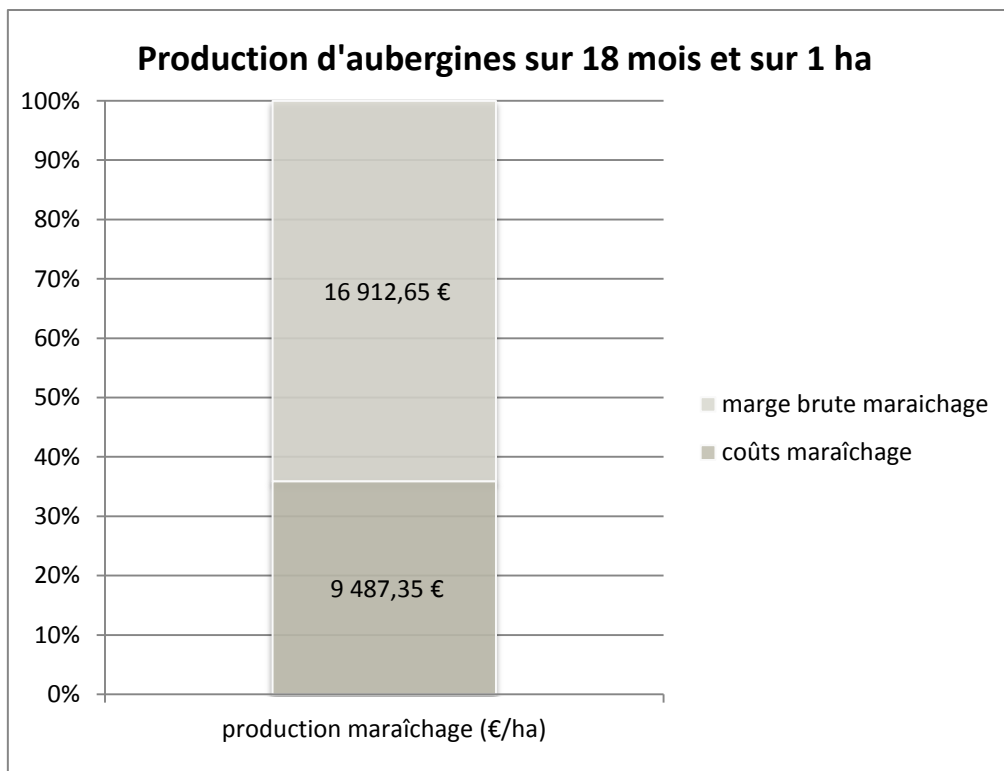
Répartition des coûts pour la culture d'aubergine

Tableau 5 : Répartition des coûts selon les opérations culturales en culture d'aubergine actuelle chez les planteurs 1 et 2 (source propre).

Opérations	Coût par hectare (deux cycles en 24 mois)		
	Planteur 1	Planteur 2	%
Travail du sol	Ne cultive pas l'aubergine	1 000 €	11%
Amendements		550 €	6%
Désherbage		772 €	20%
Fertilisation		1 529 €	16%
Traitements phytosanitaires		1 236 €	32%
Irrigation		1 768 €	19%
Récolte		2 631 €	28%
Total coûts maraîchage		9 487 €	100%



Graphique 1 : Production d'ananas chez le planteur 2. Coûts et Marge Brute (en €) (source propre).



Graphique 2 : Production d'aubergines chez le planteur 2. Coûts et Marge Brute (en €) (source propre).

c) Formulation d'hypothèses sur les services rendus par la crotalaire

Le principe de cette étape dans la modélisation est d'estimer l'impact de trois des services apportés par la crotalaire sur la marge brute calculée pour le système de culture innovant. Chaque service peut être décliné en indicateurs que nous avons traduits sous forme de réduction d'un coût ou de réduction de perte de rendement.

Impact de la Crotalaire sur les bio-agresseurs telluriques de l'ananas

Hypothèse : d'après la littérature et d'après les expérimentations effectuées au PRAM, nous savons qu'une plantation de crotalaire est capable de diminuer une population de symphytes de 90% en moyenne, et de 94% pour les nématodes sur une parcelle donnée en l'espace de 3 à 4 mois. Or il n'existe pas de données sur la relation entre les populations résiduelles de ces bio-agresseurs après assainissement par la crotalaire et la perte qu'elles peuvent occasionner sur le rendement en ananas.

Pour cette raison, nous avons choisis de considérer l'impact de ces populations résiduelles de bio-agresseurs sur un large intervalle de pertes potentielles sur le rendement en ananas. Ainsi, pour chaque type de bio-agresseur, nous avons choisi des valeurs minimales et maximales d'impact négatif sur le rendement (Tableau 6).

Tableau 6 : choix des intervalles d'impact des populations de bio-agresseurs résiduelles sur le rendement en ananas (source propre).

	Valeurs moyennes, bornes et test			
	mini	moyenne	test	maxi
suppression nématodes	90%	94%		98%
suppression symphytes	85%	90%		95%
Impact négatif sur rendement	-50%	-30%	X %	-10%
interaction wilt nematodes	50%	30%		10%

La crotalaire est capable de réduire en moyenne de 94% une population de nématodes, avec des bornes de 90 à 98 % d'efficacité. De même la diminution d'une population de symphytes est comprise entre 85 et 95 %. Nous avons alors considéré que des populations résiduelles de symphytes et de nématodes après un assainissement minimal (15% et 10% des populations initiales respectivement), pouvaient être responsables de 50 % de pertes sur le rendement en ananas, soit un rendement minimum de 50 %.

Au contraire nous avons considéré qu'un assainissement réussi, c'est-à-dire ne laissant que des populations résiduelles de 5 et 2 % de symphytes et nématodes (dans l'ordre respectif) ne pouvait engendrer au maximum une perte de 10 % du rendement potentiel en ananas.

Ces bornes ont donc été choisies de manière arbitraire, mais le modèle laisse la possibilité de rentrer une valeur « test » acquise lors du suivi des parcelles pilotes, ou tout simplement une valeur de 0 à 100%. Ceci permet d'anticiper des accidents possibles, ou de tester une situation réelle observée sur le terrain.

Réduction de l'enherbement

Hypothèse : les coûts liés au désherbage sont directement corrélés au taux d'enherbement, donc inversement proportionnels à la réduction de l'enherbement. La réduction de l'enherbement par l'action d'un couvert de crotalaire permet donc une réduction proportionnelle des coûts de désherbage.

Dans la littérature nous avons pu identifier qu'un couvert de crotalaire pouvait réduire l'enherbement de 82 % (HEH-SOON CHO, 2010). Nous avons fait le choix de paramétrer la réduction de l'enherbement suivant un intervalle de valeurs réparties autour de cette donnée. Nous avons pris une borne minimum et une borne maximum respectives de 50 et 90 % de réduction de l'enherbement par l'action de la crotalaire. Cela permet de prendre en compte une gamme plus large de possibilités en terme réduction de l'enherbement.

Ainsi, les bornes minimum et maximum de la réduction des coûts en désherbage sont respectivement 50 et 10 %. Ces bornes sont appliquées au coût du désherbage d'une parcelle d'ananas sans l'innovation, qui comprend le désherbage manuel, et le désherbage chimique. Cependant nous avons pris soin de rajouter le coût en désherbage d'un couvert en crotalaire, comme il est décrit dans l'itinéraire technique d'une parcelle de crotalaire. Cela permet d'estimer le coût du désherbage d'une parcelle d'ananas ayant eu comme précédent un couvert de crotalaire.

Tableau 7 : choix des intervalles d'impact de la crotalaire sur le coût du désherbage d'une parcelle d'ananas dans le SDC innovant. Les valeurs qui ne sont pas des pourcentages sont données à titre d'exemple, et sont exprimées en € (source propre).

réduction de l'enherbement	50%	10%	90%	82%
réduction sur les pratiques	en % du coût total de départ			
	mini	test	maxi	littérature
coût estimé du désherbage ananas	50%	90%	10%	18%
désherbant chimique	56,25	101,25	11,25	20,25
travail lié au désherbage chimique	240,00	432,00	48,00	86,40
manuel (sarclage)	480,00	864,00	96,00	172,80
désherbage avant crotalaire	118,50	118,50	118,50	118,50
coût total désherbage estimé (€/ha)	776,25	1397,25	155,25	279,45

Matière Organique et éléments nutritifs fournis par la crotalaire

Hypothèse : La matière organique et les éléments minéraux fournis au sol par un couvert de crotalaire fauché et enfoui permettraient de réduire l'apport en fumure de fond classique de type 12-4-24 + 3 MgO ou 15-3-22 + 3 MgO. Le principe de cette étape est d'estimer la quantité d'azote à apporter à une culture d'ananas plantée après un couvert de crotalaire.

Nous avons extrait de la littérature scientifique des données concernant l'apport de matière organique et d'éléments azotés par un couvert de crotalaire. Le paramétrage de ce service écosystémique a alors été effectué, comme les services précédents, sur la base de données « mini » et « maxi ». La littérature donne des valeurs en azote apporté par la crotalaire en kilogramme par hectare. Or nous savons que la totalité de cette quantité n'est pas disponible pour une culture suivante. Seule une fraction de cet apport est réellement disponible. Bien qu'il soit difficile d'estimer par le calcul les quantités en éléments disponibles pour la culture suivante (ARCHAMBEAUD & MINETTE, 2010), nous nous sommes basés sur des coefficients de restitution « mini » et « maxi » issus de la littérature. Cela permet d'approcher la réalité du terrain.

A partir de quantités « mini » et « maxi » d'azote réellement disponibles pour la culture d'ananas, nous avons calculé la fraction d'azote à apporter pour compléter la part fournie par la crotalaire et disponible pour la culture d'ananas suivante. Afin de respecter un rapport $[K_2O/N]$ équivalent à celui prescrit par un engrais de type 12-4-24 ou encore 15-3-22, nous avons également calculé la part de potasse à apporter. Il est à noter que les doses ont été calculées sous formes de quantités d'urée et de potasse, en tenant compte des fractions massiques élémentaires d'azote dans l'urée et de potassium dans la potasse⁷. Ainsi l'apport d'éléments azotés et d'éléments potassium apportés par la crotalaire comme une fumure de fond pourront être complétés par un apport en urée et en potasse, couramment utilisés comme fertilisation « en cours ». Cela ne pose pas essentiellement de problème pour la disponibilité en éléments pour le démarrage de la culture, si ce n'est éventuellement un phénomène de « faim d'azote » pour l'ananas, qui correspond à un temps de latence dû à la dégradation de la crotalaire par les micro-organismes du sol.

⁷ La fraction massique élémentaire de l'azote dans l'urée est de 46%. Celle du potassium est de 83% dans l'oxyde de potassium (K_2O).

Une fois ces micro-organismes morts, ils restituent les éléments azotés au sol et ceux-ci sont alors disponibles pour la culture d'ananas (HOARAU & HUET, 2004). La quantité d'azote initialement prévue en fumure de fond peut alors être apportée lors de la fertilisation « en cours ».

2. Simulation de l'impact de l'innovation sur les performances des systèmes de culture étudiés

a) Mise en place d'une parcelle de crotalaires

Tableau 8 : Estimation des coûts pour la mise en place d'une parcelle de crotalaire (source propre).

opérations culturales	quantité (jours/ha)	unité j/ha	prix unitaire	total/ha	Coût Total opération
Travail du sol					480,00
herse	1,3	tracteur €/j	360	480	
Semis	1,00	main d'œuvre €/j	57,6	57,6	485,6
graines crotalaire	25	kg	17,12	428,00	
Désherbage	1,67	main d'œuvre €/j	57,6	96	118,5
glyphosate	1,5	L	15	22,5	
Destruction / enfouissage					600
faucheuse	0,67	tracteur €/j	360	240	
herse à disques	1	tracteur €/j	360	360	
					1684,10

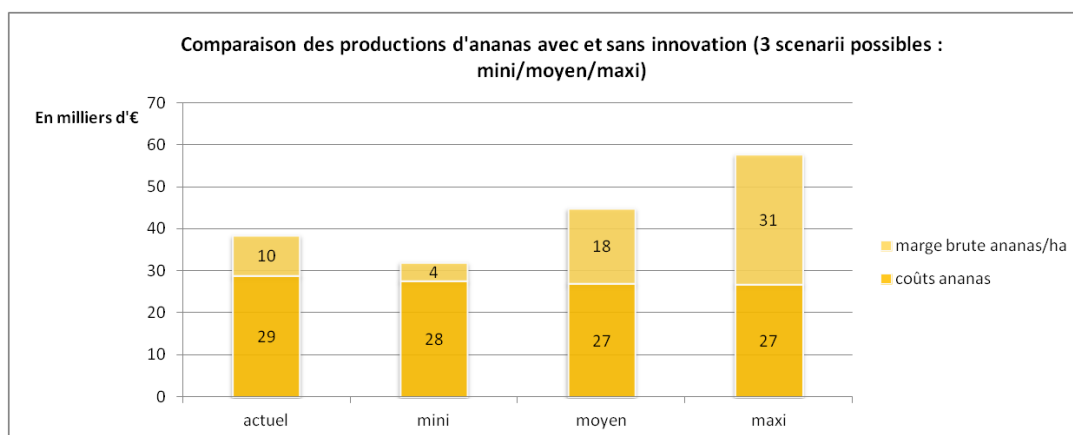
b) Test de scénarios

Trois types de scénario sont proposés par ce modèle. Pour un planteur donné, ils présentent les coûts et marge brute liés à une parcelle de 1 hectare cultivé sous les modalités suivantes :

- Monoculture d'ananas
- Système de culture innovant comprenant une rotation de bandes ananas / crotalaire
- Système de culture innovant comprenant une rotation de bandes ananas / cash crop puis crotalaire

Pour chaque type de planteur, et suivant la modalité du système de culture innovant qu'il a choisi de tester, le modèle propose une comparaison des indicateurs économiques sans innovation et avec innovation. Il propose également un indicateur environnemental comme la réduction du recours à la substance active en désherbant (glyphosate).

3. Résultats

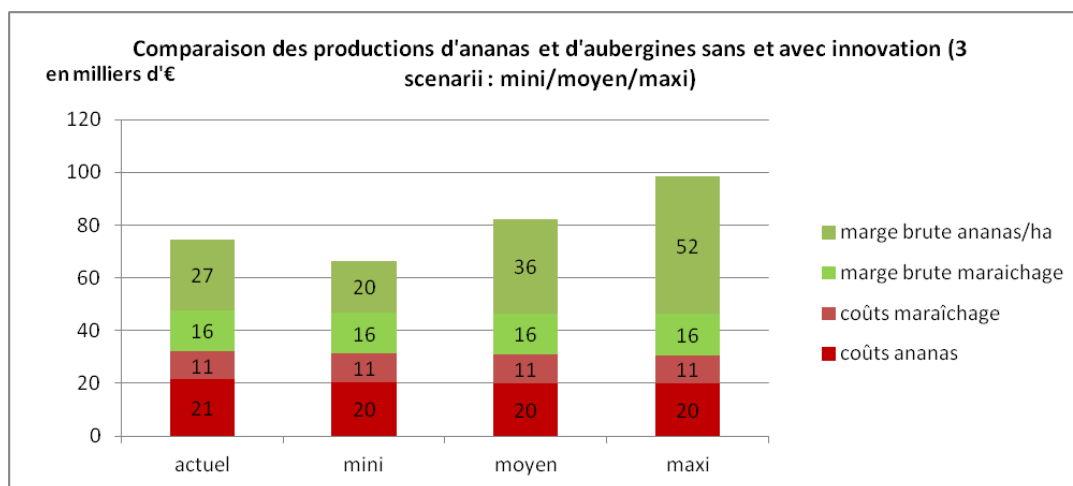


Graphique 3 : Résultats obtenus par modélisation sur l'impact économique de l'introduction de la crotalaire pour le planteur 1 (source propre).

Le modèle présente les résultats sous la forme d'un graphique, réunissant 4 situations de production d'ananas. La première situation correspond à la situation du système de culture actuellement pratiqué par le planteur, et les 3 autres aux scénarii envisagés à partir des hypothèses sur les performances de la crotalaire. La production d'ananas calculée en valeur marchande, correspond à la somme des coûts de production et de la marge brute à l'échelle d'1 hectare et d'un cycle de production, à partir des prix fixés pour l'année 2012.

Dans le cas du planteur 1, il apparaît au vu du Graphique 3 que la marge brute pour un scénario « mini » est inférieure à la marge brute actuelle. De même, pour ce scénario, la production est inférieure à la production actuelle estimée. La production d'ananas en valeur marchande devient supérieure, d'après les résultats du modèle, pour les scénarii « moyen » et « maxi », comprenant une diminution des coûts de production à l'échelle de la parcelle, et une augmentation de la marge brute.

L'exemple du planteur 1 est pertinent dans le sens où celui-ci ne comptait pas intégrer une culture maraîchère dans son système de culture. L'évaluation *ex ante* pour ce planteur permet alors d'avoir une comparaison directe entre le système actuellement pratiqué et le système innovant.



Graphique 4 : Résultats obtenus par modélisation sur les scénarii possibles sur l'impact économique de l'introduction de la crotalaire pour le planteur 2 (source propre).

Le Graphique 4 représente les résultats sortis du modèle pour le planteur 2. Dans ce cas précis, puisque celui-ci a accepté d'intégrer une culture d'aubergines, le modèle présente les coûts et marges brute générés par cette culture.

Nota Bene :

Les coûts et marges brutes présentés pour le planteur 2 sont à l'échelle de 1 hectare pour l'ananas et de 1 ha pour l'aubergine. Nous avons choisi de conserver cette échelle pour chaque culture, même si il aurait été également pertinent de donner les mêmes résultats économiques pour une parcelle de 1 ha divisée en deux bandes, l'une en ananas et l'autre en aubergine puis crotalaire. Ce choix se justifie par le fait qu'il permet notamment de comparer une production d'ananas sur 1 ha entre le planteur 1 et le planteur 2.

La marge brute générée par une culture d'aubergines, ainsi que les coûts liés à celle-ci ont été considérés comme constants sur les différents scenarii. En revanche, les indicateurs économiques liés à la culture d'ananas sont différents d'un scenario à l'autre. De la même façon que chez le planteur 1, on remarque pour le planteur 2 que dans le cas d'un scenario « mini », la marge brute en ananas est inférieure à celle générée par le système actuel. Les scenarii « moyen » et « maxi » présentent quant à eux des marges brutes supérieures et des coûts de production inférieurs à ceux du système actuellement pratiqué chez ce planteur.

4. Discussion

L'évaluation *ex ante* permet dans un premier temps d'affirmer que, pour les deux parcelles citées en exemple, les scénarii « moyens » et « maxi » sont économiquement intéressants pour les producteurs. Cela leur permet de diminuer quelques coûts, et surtout d'obtenir de meilleurs rendements, ou du reste de meilleurs rendements que sans l'innovation. L'adoptabilité de l'innovation repose aussi sur le fait que les agriculteurs seront plus sensibles à des résultats économiques performants.

Bien que la conception du modèle d'évaluation demeure simpliste, elle permet d'entrevoir que suivant les scénarii envisagés les impacts et performances économiques, agronomiques et environnementaux peuvent fluctuer de manière distincte.

Le modèle d'évaluation *ex ante* conçu n'est pas mécaniste, et n'intègre pas des fonctions ou lois simulant le mécanisme du système sur le plan agronomique (élaboration du rendement vs population de bio-agresseurs par exemple). Par contre il apporte un premier aperçu à partir d'indicateurs simples qui peuvent servir d'aide à la décision dans l'adoption de l'innovation par l'agriculteur et les adaptations à effectuer dans une démarche itérative d'adoption de l'innovation.

Dans un premier temps nous n'avons pas pu approfondir d'avantage l'évaluation *ex ante*. Cependant nous pouvons nous projeter dans l'avenir de l'évaluation de ce système de culture innovant, et proposer des voies et pistes de recherche.

Le modèle proposé gagnerait à être couplé, confronté et lié à d'autres modèles de simulation agronomique (par exemple l'élaboration du rendement, ou la simulation des pertes de production générées par la pression due aux bio-agresseurs à partir d'indicateurs agronomiques, éco-physiologiques), ou encore des modèles de simulation économétriques simulant la variation des prix d'achats d'intrants ou de vente et d'aide compensatoire. En d'autres termes une évaluation des performances du système de culture innovant sera plus réaliste si elle tend à être transdisciplinaire.

Du point de vue de la durabilité du prototype testé en démonstration, il apparaît encore difficile d'évaluer sa durabilité. Bien que ce système de culture soit conçu à dire d'experts et qu'il ait été proposé dans un souci de durabilité agricole, environnementale et économique, une évaluation plus sophistiquée de cette durabilité nous semble être la suite logique du modèle d'évaluation *ex ante*. L'évaluation serait plus juste et plus pertinente avec d'avantage d'indicateurs agro-écologiques, environnementaux, économiques. Nous prendrons pour exemple la méthode IDEA, proposée par le réseau Natura 2000 (bien que ce dernier puisse être largement contesté dans la pertinence de ses actions, et souvent perçu de façon péjorative par les acteurs du monde rural).

IV. Conclusion

Le plan Ecophyto 2018 a conduit à l'interdiction du recours aux pesticides, ce qui est justifié et tout à fait compréhensible. Il répond à une demande sociétale et environnementale qui apparaît incontestable, surtout en milieu insulaire. Mais, la procédure de réduction quant à elle est quelque peu critiquable et apparaît pour le moins brutale. De mon point de vue, les acteurs de la filière ananas qui dépendaient tous des pesticides se sont retrouvés à cours de moyens de lutte d'une année à l'autre. Or la protection des cultures contre ces bio-agresseurs représentait et représente toujours un enjeu économique non négligeable, d'autant plus que lorsque cette mesure a été appliquée, la filière ananas en Martinique n'était déjà pas en bonne santé. Cela constitue certainement un point critique puisque les mesures politiques prises ont placé les producteurs d'ananas Martiniquais devant un paradoxe ; maintenir la culture d'ananas à un niveau de production suffisant pour être économiquement viable, mais sans moyen de lutte efficace contre les bio-agresseurs.

Plus loin encore, ce virement de situation en matière de protection sanitaire des cultures n'a laissé que peu de temps aux acteurs de la filière (agriculteurs, chercheurs, groupes et réseaux d'innovations) pour établir un plan d'action et des stratégies afin de mettre au point des alternatives fonctionnelles sur le terrain. Ceci explique en partie que le système de culture innovant proposé ait été élaboré « à dire d'experts », c'est-à-dire que sa mise au point n'a pas forcément pu suivre une méthodologie complète avec des analyses statistiques cherchant à caractériser les différents profils d'exploitations comme l'avait proposé l'équipe de Jean Marc Blazy (BLAZY, OZIER-LAFONTAINE, DORE, THOMAS, & WERY, 2009) dans leur cadre méthodologique de conception de systèmes de culture. Dans le cas de l'ananas en Martinique, le recours aux alternatives écologiques via des innovations par l'introduction de plantes de services est apparu comme une situation d'urgence pour éviter que la filière ne périclite à cause d'un taux d'infection en bio-agresseurs trop important dans les sols cultivés. Nous l'avons vu l'innovation requiert, dans le cadre d'un transfert technologique, une confrontation des connaissances issues de la recherche avec les modes de pratique des agriculteurs et donc qu'elle nécessite des adaptations, des améliorations et inflexions techniques. On se situe alors à des échelles de temps de plusieurs années, et pourtant les acteurs de la filière se sont retrouvés dans l'obligation de réagir rapidement.

Un autre aspect méthodologique est critiquable : le manque de données ou de typologie à l'échelle des exploitations. La construction d'un modèle d'évaluation des performances du système de culture innovant serait plus pertinente si les chercheurs disposaient de jeux de données relatives aux 26 exploitations en ananas qui produisent toujours malgré les difficultés rencontrées sur la filière ces dernières années. En effet, cela permettrait de mettre à jour les informations actuelles sur l'environnement socio-économique et technique de ces exploitations. La limite de ce type d'acquisition de jeux de données réside dans le fait qu'il faille un travail conséquent en termes d'enquêtes technico-économiques et d'analyses permettant d'établir une typologie représentative de l'ensemble des exploitations concernées. Il apparaît que les équipes de chercheurs du PRAM ne disposent pas toujours de temps et/ou de fonds disponibles pour appuyer ce type de recherche, qui pourtant serait la clé d'une compréhension réaliste des contraintes à lever par un système de culture innovant, comme cela a pu être le cas pour les exploitations bananières en Guadeloupe. Cela pourrait s'expliquer notamment par le fait que les filières de bananes et d'ananas n'ont pas le même poids du point de vue des intérêts et enjeux économiques, donc de l'allocation des fonds faite à la recherche dans leurs domaines scientifiques respectifs.

De manière générale, il serait pertinent d'effectuer des évaluations du système de culture au fur et à mesure qu'il est adopté par les agriculteurs, sur des échelles spatiales différentes (échelles de la parcelle, de l'exploitation, du territoire, du système agraire).

Enfin la filière ananas est tenue par une minorité de producteurs qui maintiennent la production. Ces producteurs jouissent aujourd'hui du fait qu'ils sont relativement peu nombreux pour assurer un revenu convenable, et leur activité de production d'ananas est également soutenue par des aides et des subventions. Cependant la part de marché de l'ananas frais à la Martinique pour la production locale est bien inférieure aux importations. Une des voies d'évolution de la filière ananas à la Martinique pourrait s'orienter vers la production sous certification biologique, comme cela l'avait été envisagé auparavant par une étude de l'IRD. Mais une telle évolution suppose, a priori, une bonne maîtrise des pratiques agro-écologiques par les acteurs de la filière. Cette voie d'évolution de la filière paraît vraisemblable, et sera pour le moins coûteuse en temps.

Bibliographie

- Quelles solutions pour l'ananas Martiniquais ?* (2012, 1 juin). Consulté le 4 Juillet, 2012, sur Serge Letchimy: <<http://www.serge-letchimy.fr/2012/06/01/quelles-solutions-pour-lananas-martiniquais/>>
- ALBRECHT, A., BROSSARD, M., CHOTTE, J.-L., & FELLER, C. (1992). Les stocks organiques des principaux sols cultivés de la Martinique (Petites Antilles). *Cahiers Orstom, série Pédologie*, 27(1), 23-36.
- ARCHAMBEAUD, M., & MINETTE, S. (2010, Septembre/octobre). Mesurez les éléments minéraux dans vos couverts. *Techniques culturales simplifiées*, pp. 29-31.
- BLANCHARD, P., FEMENIAS, A., GILLET, H., & RENUCCI, A. (2011). *Rapport d'évaluation des plans d'actions Chlordécone aux Antilles (Martinique, Guadeloupe), Tome 1*. IGAS, CGEDD, CGAAER, IGAENR.
- BLAZY, J. M. (2008). *EVALUATION EX ANTE DE SYSTEMES DE CULTURE INNOVANTS PAR MODELISATION AGRONOMIQUE ET ECONOMIQUE : De la conception à l'adoption. Cas de systèmes de culture bananiers en Guadeloupe*. Montpellier: Montpellier SupAgro.
- BLAZY, J. M., DOREL, M., SALMON, F., OZIER-LAFONTAINE, H., WERY, J., & TIXIER, P. (2009). Model-based assessment of technological innovation in banana cropping systems contextualized by farm types in Guadeloupe. *European Journal of Agronomy*, 10-19.
- BLAZY, J.-M., OZIER-LAFONTAINE, H., DORE, T., THOMAS, A., & WERY, J. (2009). A methodological framework that accounts for farm diversity in the prototyping of crop management systems. Application to banana-based systems in Guadeloupe. *Agricultural Systems*, 30-41.
- BOSSER, J. (1956). *Considérations sur les plantes de couvertures, engrais verts, plantes fourragères en pays intertropicaux et plus particulièrement à Madagascar. Publications de l'Institut de recherche scientifique de Tananarive-Tsimbazaza*. Paris: André, Pierre.
- CABIDOCHÉ, Y.-M., & LESUEUR-JANNOYER, M. (2011). Pollution durable des sols par la chlordécone aux Antilles : comment la gérer ? *Innovations Agronomiques*, 117-133.
- CABIDOCHÉ, Y.-M., BENOÎT, M., BLANCHART, É., FOURNET, J., LHOSTE, P., GAUTRONNEAU, Y., . . . TORIBIO, A. (2005). Faisabilité technique de l'agriculture biologique en Martinique : aspects généraux. Dans M. FRANCOIS, R. MOREAU, & B. SYLVANDER, *Agriculture Biologique en Martinique* (pp. 81-141). Montpellier: IRD éditions.
- CASWELL, E., AM, W., DEFRANKJ., & TANGC, S. (1989). The influence of non host plants on population decline of *Rotylenchulus reniformis*. *Journal of Nematology*, 21.
- Chambre d'Agriculture. (2011). *Ecophyto : sélection des groupes de fermes pour le réseau DEPHY*. Consulté le 18 Mai, 2012, sur Chambres d'Agriculture: [<http://www.chambres-agriculture.fr/outils-et-modules/actualites/article/ecophyto-selection-des-grou/>]
- Chambre d'Agriculture. (2011). *Ecophyto 2018*. Consulté le 18 Mai, 2012, sur Chambres d'Agriculture: [<http://www.chambres-agriculture.fr/thematiques/ecophyto-2018/>]
- CHAVE, M., OZIER-LAFONTAINE, H., & NOËL, Y. (2012). Towards agricultural innovations systems : designing and operational interfaces. *AGRICULTURE*, 41(2), 81-86.

- CIRAD. (2007). *Systèmes de culture bananiers plantains et ananas*. Consulté le 6 Octobre, 2012, sur CIRAD: <http://www.cirad.fr/ur/systemes_bananes_ananas>
- CIRAD. (2012, 20 janvier). *Le Cirad accueille le premier atelier des réseaux d'innovation technique et de transfert agricole des Dom (Rita)*. Consulté le 7 Août, 2012, sur CIRAD: [<http://www.cirad.fr/actualites/toutes-les-actualites/articles/2012/evenements/atelier-rita-au-cirad>]
- COTE, F. X., CHABRIER, C., DOMERGUE, R., FOURE, E., FOURNIER, P., GALAN, M., . . . VANNIERE, H. (2011). *Pesticides DOM : Inventaire des dispositifs expérimentaux*. Cirad, Inra, DAAF Guyane, Ministère de L'Agriculture et Onema eds, Montpellier.
- DA SILVA SOUZA, L. F., & REINHARDT, D. H. (2007). Pineapple. Dans I. P. Institute, *Fertilizing for High Yield and Quality, TROPICAL FRUITS of BRAZIL*. (Vol. IPI Bulletin N°18, pp. 179-201). Horgen, Switzerland: A. E. Johnston.
- DIEDEREN, P., van MEIJL, H., WOLTERS, A., & BIJAK, K. (2003). Innovation adoption in agriculture : leaders, early adopters and laggards. *Cahiers d'économie et sociologie rurale*(67), 29-50.
- FERRIS, H. (2011, Avril 13). *Rotylenchulus reniformis*. Consulté le 24 Mai, 2012, sur NEMAPLEX (the Nematode Plant Expert Information System): <<http://plpnemweb.ucdavis.edu/nemaplex/Taxadata/G116S2.HTM#Classification:>>
- FISCHLER, F. (2004, Avril 14). Aides d'État/France - aide n° N 481/2003. *Aide en faveur de la coopérative agricole du Morne Rouge SOCOMOR*. Bruxelles: Commission Européenne.
- FOURNIER (CIRAD), P., & Unité de Productions Fruitières de la Chambre d'Agriculture de la Réunion. (2011). *La Culture de l'Ananas Victoria à la Réunion pour l'exportation - Recueil de bonnes pratiques*. Réunion: CIRAD.
- FRANCOIS, M., MOREAU, R., & SYLVANDER, B. (2005). *Agriculture Biologique en Martinique*. Montpellier: IRd éditions.
- FREDON. (s.d.). *Fiche Technique : Quelques ravageurs de la culture de l'ananas*. En collaboration avec le Service de la Protection des Végétaux de la Martinique. Fort de France: FREDON.
- HEH-SOON CHO, A. (2010). *Investigation of Sunn Hemp as a cover crop and a seed crop in Florida*. Thèse, Graduate School of the University of Florida.
- HOARAU, I., & HUET, P. (2004). *Alternative au paillage plastique traditionnel sur culture d'ananas*. La Réunion: ARMEFLHOR.
- KEHE, M. (1988). *Hanseniella Ivorensis Juberthie-Jupeau et Kehe (1978), Symphyle, Myriapode (Scutigerillidae) Et Le Dépérissement Racinaire De L'Ananas En Côte D'Ivoire : Incidence agronomique et moyen de lutte*. Abidjan: Université Nationale de Côte d'Ivoire. Thèse (Dr. Ingénieur en Sciences Agronomiques).
- LESUEUR-JANNOYER, M., & FERNANDES, P. (2007). Les Pesticides. *Etudes et Prospectives* (p. 17). CIRAD, INRA, AFSSA.
- MARIE-ALPHONSINE, P. A., FOURNIER, P., DOLE, B., GOVINDIN, J., & SOLER, A. (2010). A bait and trap method for sampling symphyliid populations in pineapple. *Pineapple News*(17), 18-22.
- MARSHALL, A. J. (2002). *Sunn hemp (Crotalaria juncea) as an organic amendment in crop production*. Thèse, University of Florida, Gainesville.

- MICHEL, V. (2008). Biofumigation: principe et application. *Revue suisse Viticulture Arboriculture Horticulture*, 40(2), pp. 95-99.
- NOLOT, J.-M., & DEBAEKE, P. (2003). Principes et outils de conception, conduite et évaluation de systèmes de culture. *Cahiers Agricultures*, 12(6), 387-400.
- OLIVIER de SARDAN, J.-P. (1997). *Anthropologie et développement : essai en socio-anthropologie du changement social*. Paris: APAD-KARTHALA.
- PIP. (2009). *Itinéraire technique Ananas Cayenne Ananas comosus*. Bruxelles: COLEACP - UGPIP.
- PY, C., LACOEUILHE, J., & TEISSON, C. (1987). *L'ananas sa culture, ses produits*. Paris, France: G.P. Maisonneuve et Larose.
- QUENEHERVE, P., DAO, J.-C., DUCELIER, D., LANGLAIS, C., LASSOUDIERE, A., LHOSTE, P., . . . TORIBIO, A. (2005). Faisabilité Technique de l'Agriculture Biologique en Martinique : productions. Dans M. FRANCOIS, R. MOREAU, & B. SYLVANDER, *Agriculture Biologique en Martinique* (pp. 149-233). Montpellier: IRD éditions.
- RCI Martinique. (2011, 16 Décembre). *Agriculture : une plante, alternative aux pesticides*. Consulté le 18 Mai, 2012, sur Radio Caraïbes International Martinique: [<http://www.rcimartinique.fm/Une-plante-alternative-aux.html>]
- ROTAR, P. P., & JOY, R. J. (1983). *'Tropic Sun' Sunn hemp Crotalaria juncea L.* University of Hawaiï, College of Tropical Agriculture and Human Resources.
- SAFFACHE, P., BLANCHART, É., CABIDOCHÉ, Y.-M., JOSIEN, É., MICHALON, T., SAUDUBRAY, F., & SCHERER, C. (2005). Contexte de l'agriculture martiniquaise : atouts et contraintes pour l'agriculture biologique. Dans M. FRANCOIS, R. MOREAU, & B. SYLVANDER, *Agriculture Biologique en Martinique* (pp. 40-77). Montpellier: IRD éditions.
- SAUDUBRAY, F., HORRY, J.-P., MARIE-ALPHONSINE, P.-A., CROS, D., & SOLER, A. (2006). Management de la Qualité dans la Filière Ananas en Martinique. *Fruits*, vol. 61, 39-53.
- SETH, D. M., ULLMAN, D. E., & HU, J. S. (1998). VIROLOGY - Transmission of Pineapple Mealybug Wilt-Associated Virus by Two Species of Mealybug (*Dysmicoccus* spp.). (T. A. Society, Éd.) *Phytopathology*, 88(11), pp. 1224-1230.
- SIPES, B. (1996). Control of *Rotylenchulus reniformis* in pineapple with fosthiozate. *Fruits*, 51(3), 173-177.
- SIPES, B. S., SETH, D. M., & HU, J. S. (2002). Interactions Between *Rotylenchulus reniformis* and Pineapple mealybug wilt associated virus-1 in Pineapple. (T. A. Society, Éd.) *Plant Disease*, 86(9), pp. 933-938.
- SOLER, A., & MARIE-ALPHONSINE, P.-A. (2007, Mai). Growth Characteristics of the Pineapple Cultivars 'MD2' and 'Flhoran 41' Compared With 'Smooth Cayenne'. (I. S. Science, Éd.) *Pineapple News*(14), pp. 18-20.
- SOLER, A., DUBOIS, C., & FOURNIER, P. (2010, May). Growth Indicators for Queen Victoria Pineapple Versus Sum of Temperatures, Basis for a Heat-unit Model of Vegetative Growth. *Pineapple News*, pp. 15-17.
- SOLER, A., GAUDE, J.-M., MARIE-ALPHONSINE, P.-A., VINATIER, F., DOLE, B., GAUVINDIN, J.-C., . . . QUENEHERVE, P. (2011). Development and evaluation of a new method for sampling and monitoring the symphylid population in pineapple. *Pest Management Society*, 67, 1169-1177.

- TORIBIO, J. A. (1998). *Observations préliminaires sur la biodégradabilité et l'impact du plastique "Biosac" en culture bananière en Guadeloupe*. URPV, INRA.
- TSAI, B., cité dans WANG, K.-H., SIPES, B., & HOOKS, C. (2010, Mai). Environmental Friendly Approaches for Managing Nematodes and Weeds on Pineapple. *Newsletter of the Pineapple Working Group, International Society for Horticultural Science*(N°17), pp. 27-32.
- WANG (a), K.-H., SIPES, B. S., & SCHMITT, D. P. (2002). Crotalaria as a Cover Crop for Nematodes Management : a Review. *Nematropica*, vol. 32(1), 35-57.
- WANG (b), K.-H., SIPES, B. S., & SCHMITT, D. P. (2002). Management of *Rotylenchulus reniformis* in Pineapple, *Ananas comosus*, by Intercycle Cover Crops. *Journal of Nematology*, 34(2), 106-114.
- WANG (c), K.-H., SIPES, B. S., & SCHMITT, D. P. (2001). Suppression of *Rotylenchulus reniformis* by *Crotalaria juncea*, *Brassica napus*, and *Tagetes erecta*. *NEMATROPICA*, 31(2), 253-250.
- WELLINGTON DE MORAIS, J., & PAXIAO DA SILVA, E. (2009). Occurrence of Symphyla (Myriapoda) in the region of the Upper Solimões River, Amazonas, Brazil. *Pesq. agropec. bras.*, 44(8), 981-983.

Table des annexes

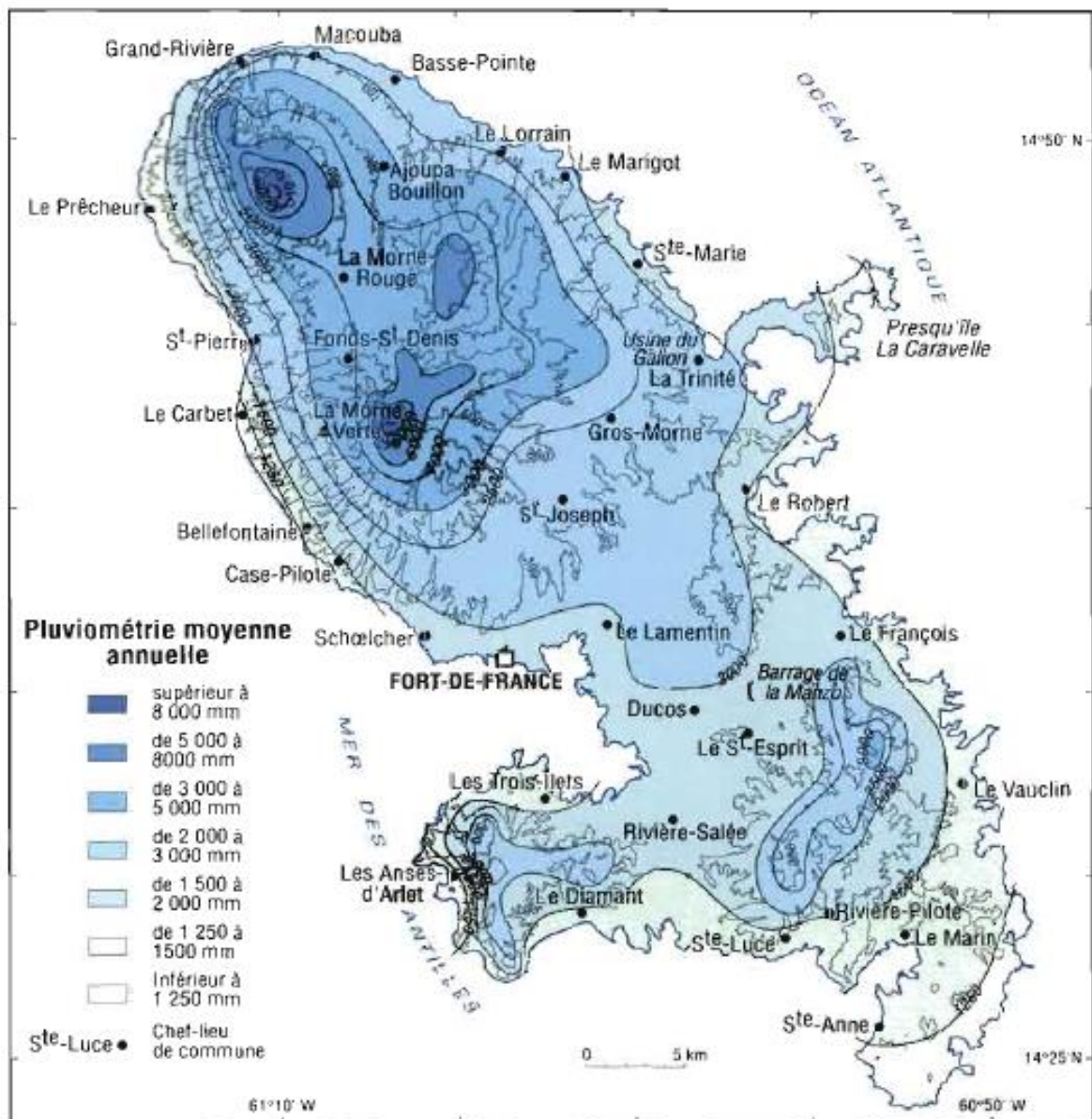
Annexe 1 : Description des matériels et méthodes pour les expérimentations sur les populations de nématodes et symphytes réalisées au PRAM.....	59
Annexe 2 : Carte topo-climatique de la Martinique	59
Annexe 3 : Carte des sols de la Martinique.....	60
Annexe 4 : Récapitulatif de la typologie des producteurs d'ananas de la Martinique en fonction de l'itinéraire technique pratiqué.....	61
Annexe 5 : Contrôle du wilt et des cochenilles par prophylaxie.	63
Annexe 6 : Choix d'indicateurs de suivi des parcelles de démonstration (source propre).....	64
Annexe 7 : Exemple de planning de suivi d'un site de démonstration. Les indicateurs sont codifiés par couleur en référence au tableau de suivi (source propre).....	66
Annexe 8 : Exemple de profils pédologiques réalisés avant la mise en place de la démonstration. Réalisation de profils pédologiques dans la parcelle du planteur 2, Basse Pointe (source propre).....	67
Annexe 9 : Plan de fertilisation pour un cycle de culture ananas à l'échelle d'un hectare - Planteur 1(source propre).....	70
Annexe 10 : Plan de fertilisation pour un cycle de culture ananas à l'échelle d'un hectare - Planteur 2 (source propre).....	70
Annexe 11 : Résultats d'enquête sur l'itinéraire technique pratiqué par les planteurs 1 et 2 pour un cycle de culture d'ananas correspondant à 24 mois et sur un hectare - Partie "Intrants" (source propre).	71
Annexe 12 : Résultats d'enquêtes sur l'itinéraire technique pratiqué par les planteurs 1 et 2 pour un cycle de culture d'ananas correspondant à 24 mois et sur un hectare – Partie "Opérations culturales"(source propre).....	72
Annexe 13 : Résultats d'enquêtes sur l'itinéraire technique pratiqué par le planteur 2 en culture d'aubergine sur un hectare – Parties "Intrants et Opérations culturales" (source propre).....	73
Annexe 14 : Bases de la modélisation.....	74
Annexe 15: extrait du modèle ; tableur de calcul de la répartition des coûts pour une culture d'ananas (source propre).....	76
Annexe 16 : détail des calculs pour les services rendus par la crotalaire (résultats à titre d'exemple) (source propre).....	78

Annexe 1 : Description des matériels et méthodes pour les expérimentations sur les populations de nématodes et symphytes réalisées au PRAM.

Matériels et Méthodes

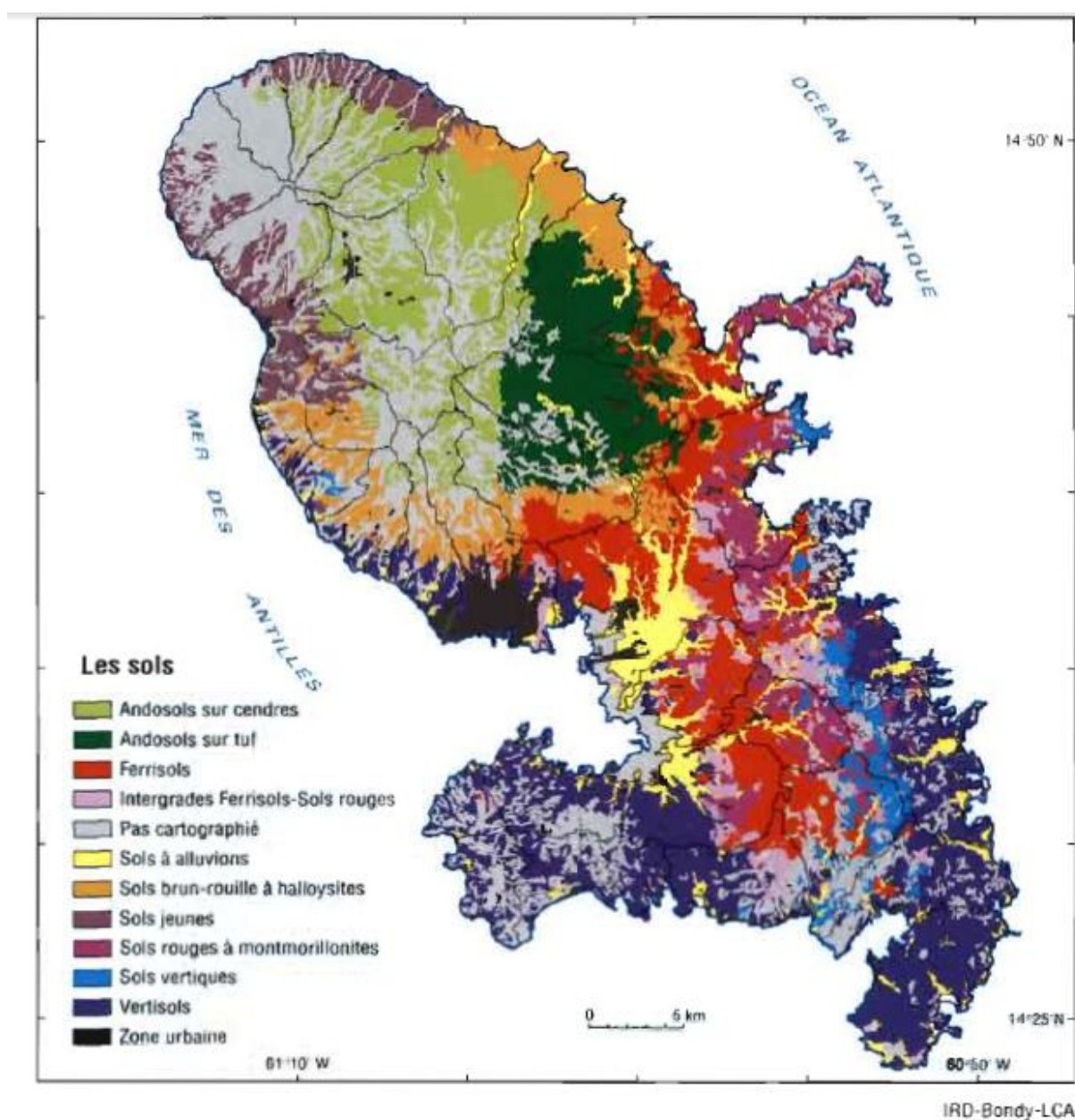
Sur une parcelle d'ananas ayant eu comme précédent cultural une culture d'ananas également, 60 pièges à symphytes ont été placés et relevés puis comptés tous les mois selon la méthode « bait&trap » (MARIE-ALPHONSINE, FOURNIER, DOLE, GOVINDIN, & SOLER, 2010). Ces pièges étaient espacés entre eux de 2,50 mètres sur la largeur et 3 mètres sur la longueur. La terre prélevée chaque mois a également permis de réaliser des comptages de nématodes, avec une calibration plus grossière mais respectant la localisation des pièges sur la parcelle. Grâce à des analyses statistiques sur logiciel R il a été établi des cartes de densités de nématodes et de symphytes pour cette parcelle.

Annexe 2 : Carte topo-climatique de la Martinique



IRD-Bondy-LCA
(FRANCOIS, MOREAU, & SYLVANDER, 2005)

Annexe 3 : Carte des sols de la Martinique



(FRANCOIS, MOREAU, & SYLVANDER, 2005)

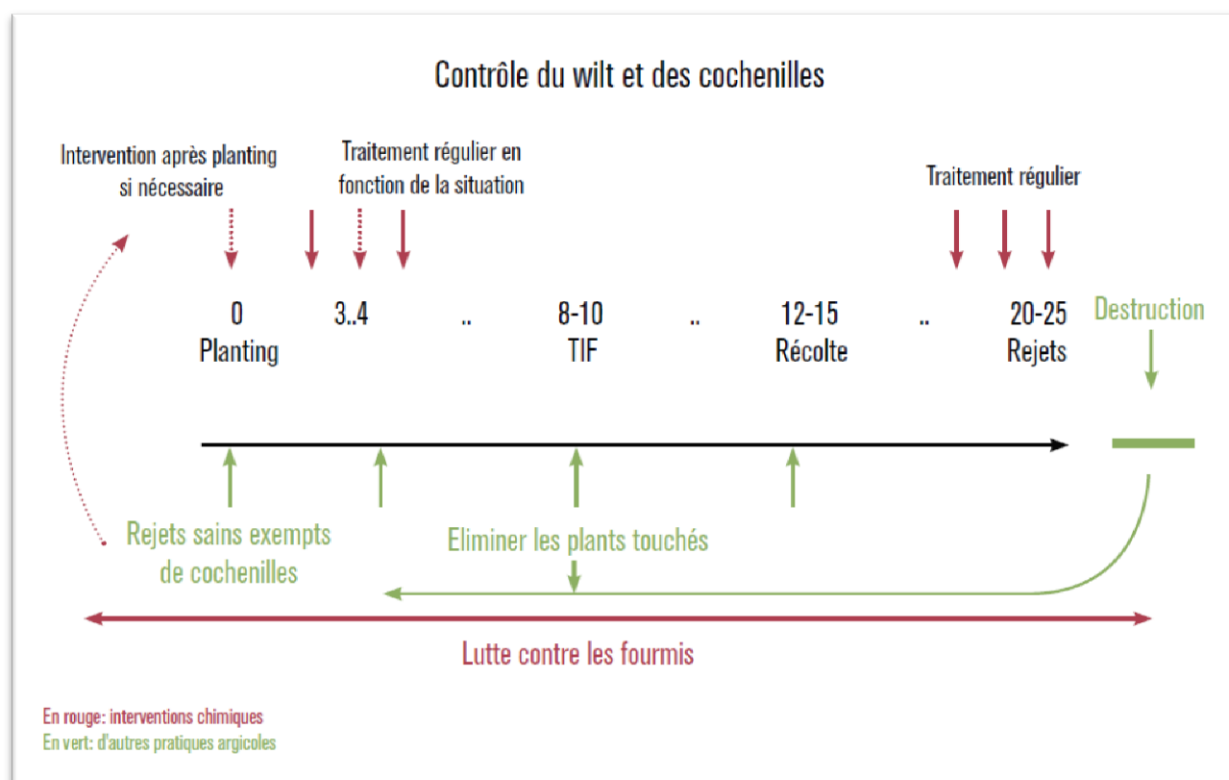
Annexe 4 : Récapitulatif de la typologie des producteurs d'ananas de la Martinique en fonction de l'itinéraire technique pratiqué

	exploitations	Surface ananas Martinique	Fertilisation	Désherbage	Phytoprotecteurs	TIF	Rejets
Proche référence +	20 %	60 %	Respect doses recommandées. Rapport potasse/azote proche des recommandations. (équilibré).	Avant plantation : chimique ou mécanique Dose moyenne en cours de végétation	Insecticides : Doses de Parathion- méthyl, disulfoton inférieures aux doses recommandées.	1 ou 2 passages Urée uniquement	Surfertilisation, mais proche doses recommandations. Insecticides bien inférieurs aux doses recommandées.
Proche référence rejets	27 %	19 %	Respect doses recommandées. Rapport potasse/azote trop faible, déséquilibré Doses constantes jusqu'au TIF Fumure de fond : systématique	Chimique, en seulement en cours végétation, doses moyennes	Insecticides : doses moyennes à fortes ethoprophos, parathion-méthyl bien inférieures aux doses recommandées, Cadusaphos (non homologué)	Pratiques variables	Fertilisation faible, et parathion-méthyl seulement ou Dose d'urée élevée, avec disulfoton, sans herbicides
Proche référence sans rejet	20%	5%	Respect doses recommandées. Rapport potasse/azote trop faible, déséquilibré Doses constantes jusqu'au TIF Fumure de fond : systématique	Chimique, en seulement en cours végétation, doses moyennes	Disulfoton supérieure aux doses recommandées. Doses Parathion méthyl, ethoprophos inférieures aux doses recommandées.	1 ou 2 passages Urée uniquement	

Ferti-Trop	13 %	9 %	Doses trop fortes rapport potasse/azote trop faible, déséquilibré Doses constantes jusqu'au TIF Fumure de fond : raisonnée	Chimique, seulement en cours végétation, doses moyennes	Variable, Dose Disulfoton faible Doses de Parathion méthyl, ethoprophos modérées	1 seul passage	Dose d'urée élevée Sans herbicides, Phytosanitaires : doses moyennes
Phyto-Trop	20 %	7 %	Très variable, parfois proche parfois loin doses recommandées. Fumure de fond : Chaux magnésienne 1 T/ha	Chimique : fréquents, doses fortes, en cours de végétation	Doses fortes Parathion-méthyl, disulfoton supérieures aux doses recommandées. Ethoprophos proche aux doses recommandées.	variable	Dose d'urée élevée Sans herbicides, Phytosanitaires : doses fortes

(SAUDUBRAY, HORRY, MARIE-ALPHONSINE, CROS, & SOLER, 2006)

Annexe 5 : Contrôle du wilt et des cochenilles par prophylaxie.



(source PIP, 2009)

Annexe 6 : Choix d'indicateurs de suivi des parcelles de démonstration (source propre).

Objectifs principaux	Objectifs secondaires	hypothèse	Indicateurs	Vérifications / contrôle	code planning	légende
Choix des plantations / parcelles de démonstration	Enquêtes / discussion avec planteurs	Le planteur accepte d'allouer une parcelle à la démonstration	Surface allouée	Surface allouée		
	Choix d'une modalité de démonstration	Dépend du couvert végétal de la parcelle, et / ou du précédent cultural	Choix de la modalité	Choix de la modalité		
Suivi de la démonstration	Suivi des parcelles semées en crotalaire	Assainissement du sol	Population de symphytes avant semis et à la fauche (t_0 et t_{fauche})	pièges à symphytes	PS	Piège symphytes
			Population de nématodes (t_0 et t_{fauche})	prélèvements terre dans les pièges à symphytes (voir découpage des parcelles)	PN	Prélèvements nématodes
		Fertilisation du sol	Matière organique et Azote	(analyse laboratoire)	AT	Analyse terre
			Biomasse incorporée	pesée de biomasse prélevée au champ	BC	Biomasse Crotalaire
		Contrôle de l'enherbement	Taux d'enherbement des jachères	comptage densité crotalaire levée ?	DC	densité crotalaire
			Taux d'enherbement (hors crotalaire) avant la fauche des crotalaires			

		Impact sur la microflore du sol	Mycorhizes ?	prélèvements racines croataleaire sur biomasse	PM	prélèvements mycohrizes
Suivi des parcelles d'ananas		Taux infestations ravageurs	Population de symphytes avant planting, et aux émissions racinaires (tplanting, t2, t6 et tTIF[1])	pièges à symphytes	PS	
			Population de nématodes, aux mêmes périodes que pour les symphytes	prélèvements terre dans les pièges à symphytes (voir découpage des parcelles)	PN	
		Etat du couvert ananas	Croissance avec Feuille « D »	masse des feuilles D	D	masse des feuilles D
			Prophyllaxie pendant les 3 premiers mois : présence ou non de wilt	Traitement localisé et/ou remplacement		
		Fertilisation	Analyse sol azote et MO	Apport complémentaire de fertilisants classiques si nécessaire - gestion par le planteur		
			Bilans nutritifs			
		Rendement ananas	Tonnage à l'ha et masse d'un fruit frais	masse d'un fruit frais - moyenne de pesées	MFF	masse des fruits frais

Annexe 7 : Exemple de planning de suivi d'un site de démonstration. Les indicateurs sont codifiés par couleur en référence au tableau de suivi (source propre).

[illegible]

**Annexe 8 : Exemple de profils pédologiques réalisés avant la mise en place de la démonstration.
Réalisation de profils pédologiques dans la parcelle du planteur 2, Basse Pointe (source propre).**

Nous avons creusé 3 profils, afin de représenter au mieux la parcelle sur l'aspect pédologique. La position des profils sur la parcelle est indiquée sur le schéma suivant.

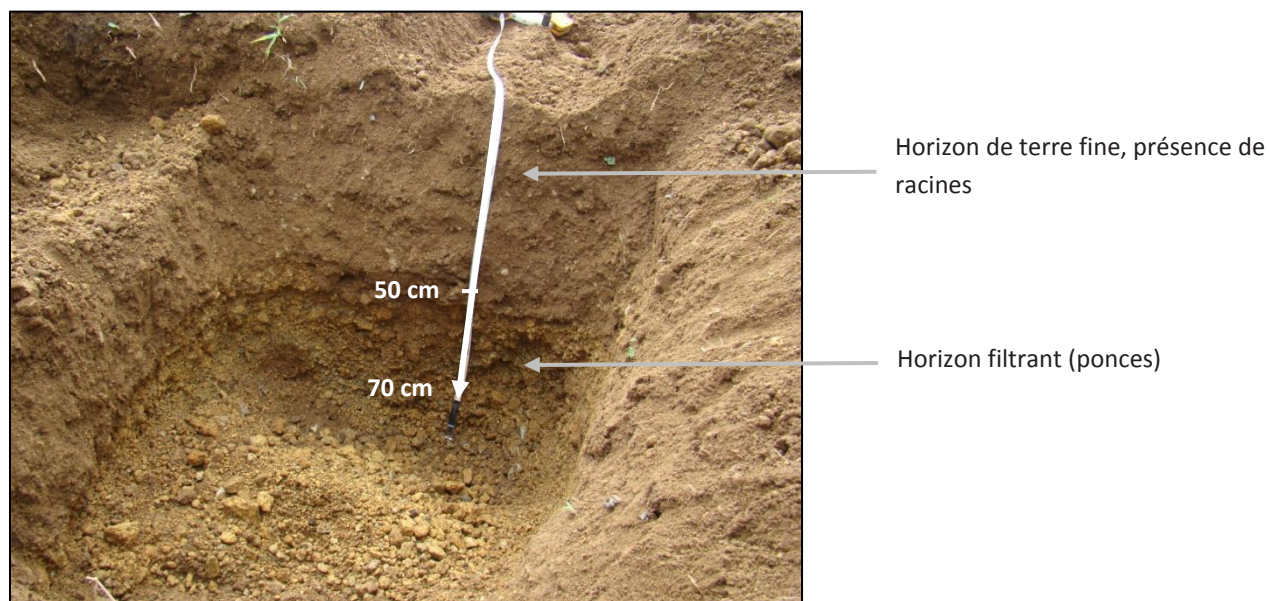
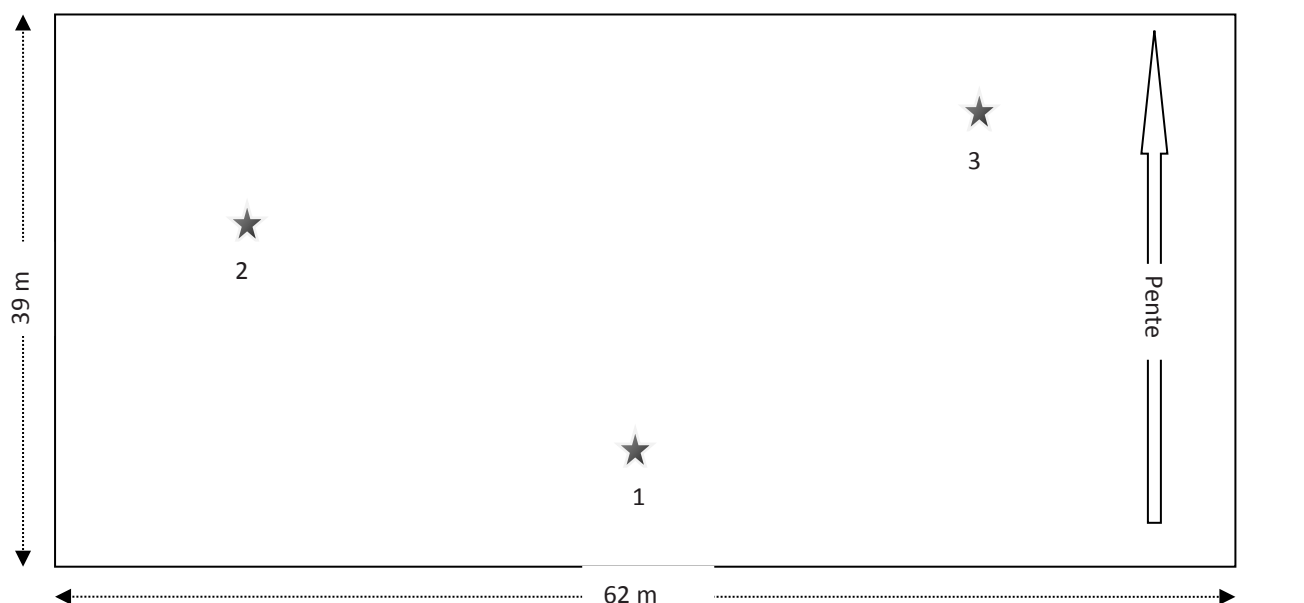


Photo 1 : Profil n°1

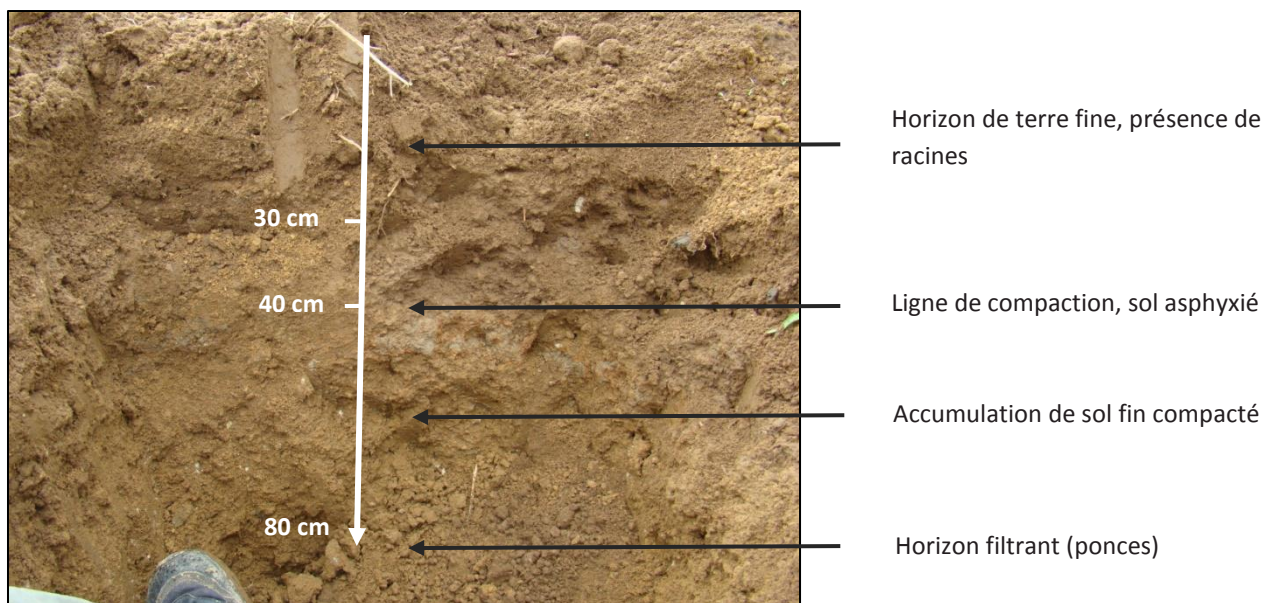


Photo 2 : Profil n°2

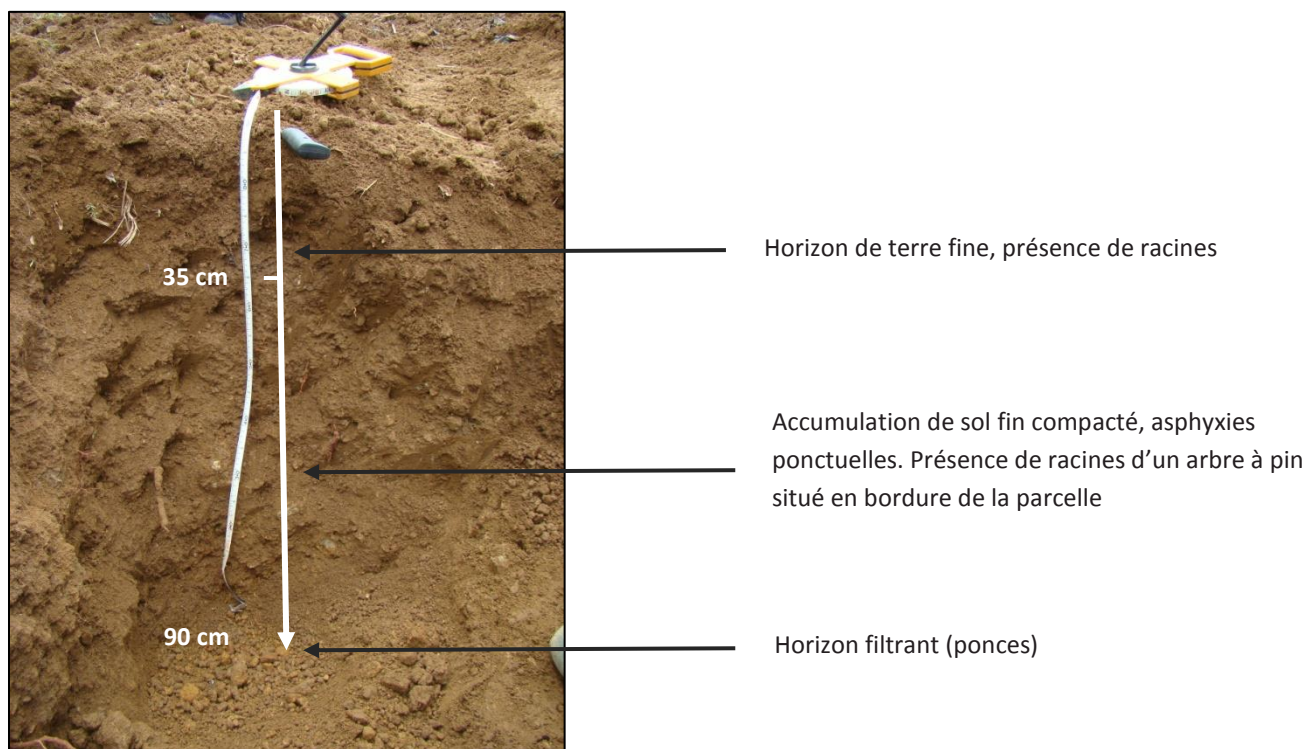


Photo 3 : Profil n°3

On remarque, d'après les profondeurs de l'horizon filtrant respectives à chaque profil, que le sol a progressivement été érodé en haut de la parcelle et que les particules fines se sont accumulées en bas de la parcelle. Le sol est compacté de façon générale à une profondeur de 30 cm, ce qui pourrait correspondre à la semelle de labour. De plus, on constate une asphyxie dans cette couche de sol compacté, il n'y a presque pas de MO. Pour les profils 2 et 3, une

couche de sol fin s'est accumulée sous la couche compactée ; ceci pourrait correspondre à un drainage des particules fines du sol de la surface vers l'horizon de ponces. En haut de la pente, l'horizon filtrant (ponces) étant à une profondeur de 30 cm, on n'observe pas cette compaction.

Annexe 9 : Plan de fertilisation pour un cycle de culture ananas à l'échelle d'un hectare - Planteur 1(source propre).

mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	15	16	17	18	19	20	21	22	24			
N° du passage	1	2	3	4	5	6	7	8	9	total 1ère récolte	10	11	12	13	14	15	16	total récolte rejets	total cycle (kg)	prix unitaire (€/kg)	Coût total
Urée (kg/ha)	75	75	75	100	100	100	125	125	125	900	100	0	100	0	100	0	100	400	1 300	0,55	715
Potasse (kg/ha)	75	75	75	100	100	100	125	125	125	900	100	0	100	0	100	0	100	400	1 300	0,70	910
rapport K2O/N	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	###	1,0	####	1,0	####	1,0	1,0	coût total		1625

Annexe 10 : Plan de fertilisation pour un cycle de culture ananas à l'échelle d'un hectare - Planteur 2 (source propre).

mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	15	16	17	18	19	20	21	22	24			
N° du passage	1	2	3	4	5	6	7	8	9	total 1ère récolte	10	11	12	13	14	15	16	total récolte rejets	total cycle (kg)	prix unitaire (€/kg)	Coût total
Urée (kg/ha)	50	50	50	50	75	75	75	75	100	600	100	100	120	120	150	150	150	890	1 490	0,55	819,5
Potasse (kg/ha)	30	30	40	40	45	47,5	50	55	60	398	80	80	100	100	120	120	120	720	1 118	0,70	782,25
rapport K2O/N	0,6	0,6	0,8	0,8	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	coût total		1601,75

Annexe 11 : Résultats d'enquête sur l'itinéraire technique pratiqué par les planteurs 1 et 2 pour un cycle de culture d'ananas correspondant à 24 mois et sur un hectare - Partie "Intrants" (source propre).

ANANAS Intrants	Planteur 1			Planteur 2		
	quantité	unité	prix unitaire	quantité	unité	prix unitaire
Amendements						
chaux	45	sac de 50 kg	11	16	sac de 25 kg	7,5
physiolithe	0	sac de 50 kg	20,75	8	sac de 50 kg	20,75
Fertilisation plantation						
engrais	60	(12-4-24 + 3 MgO) sac de 25 kg	15	40	(15-3-22+3MgO) sac de 50 kg	21
multicot						
Fongicide						
aliet	8	kg	50	2	kg	50
Herbicides						
herbicide (360 g glyphosate/L)	7,5	L	15	20	L (touchdown)	11,1
Fertilisation						
urée		kg	0,55		kg	0,55
potasse		kg	0,7		kg	0,7
fertiactyl		L	10		L	10
Hormonage - TIF						
ethrel	1	L	70	1	L	70
urée	100	kg	0,55	100	kg	0,55
Mulch plastique	5	rouleau	255	5	rouleau	255
Achat Rejets	5333	plant	2,23	25000	plant	0,33

Annexe 12 : Résultats d'enquêtes sur l'itinéraire technique pratiqué par les planteurs 1 et 2 pour un cycle de culture d'ananas correspondant à 24 mois et sur un hectare – Partie "Opérations culturales"(source propre).

Ananas Opérations culturales	Planteur 1			Planteur 2		
	quantité (jours)	unité	coût unitaire €/j	quantité (jours)	unité	coût unitaire €/j
Destruction vieille parcelle						
coutelassage	1,00	tracteur €/j	360	1,00	tracteur €/j	300
extraction du mulch plastique	10,00	main d'œuvre €/j	57,6	3,00	main d'œuvre €/j	50
Travail du sol						
herse	1,33	tracteur €/j	360	0,83	tracteur €/j	300
charrue	1,33	tracteur €/j	360	0,83	tracteur €/j	300
Epandage amendements	0,50	tracteur €/j	360	2,00	main d'œuvre €/j	50
Planting						
billonnage	0,67	tracteur €/j	360	2,00	tracteur €/j	300
pose du mulch plastique	20,00	main d'œuvre €/j	57,6	6,00	main d'œuvre €/j	50
préparation rejets	26,67	main d'œuvre €/j	57,6	16,00	main d'œuvre €/j	50
planting des rejets	16,00	main d'œuvre €/j	57,6	7,00	main d'œuvre €/j	50
fertilisation plantation	0,00	main d'œuvre €/j	57,6	2,00	main d'œuvre €/j	50
Epandage engrais	4,67	tracteur €/j	360	9,00	main d'œuvre €/j	50
Application fongicide	1,33	tracteur €/j	360	2,00	main d'œuvre €/j	50
Désherbage						
manuel (sarclage)	16,67	main d'œuvre €/j	57,6	6	main d'œuvre €/j	50
chimique	8,33	main d'œuvre €/j	57,6	6,00	main d'œuvre €/j	50
TIF	0,50	tracteur €/j	360	2,00	main d'œuvre €/j	50
Récolte	36,00	main d'œuvre €/j	57,6	60,00	main d'œuvre €/j	50
Autres frais						
livraison	6,3	main d'œuvre €/j	57,6	19,0	main d'œuvre €/j	50
trajets véhicule	50	pickup €/jour	1,82	56,875	pickup €/jour	9,375

Annexe 13 : Résultats d'enquêtes sur l'itinéraire technique pratiqué par le planteur 2 en culture d'aubergine sur un hectare – Parties "Intrants et Opérations culturales" (source propre).

Maraichage intrants (Basé sur aubergine)	Planteur 1			Planteur 2		
	quantité	unité	prix unitaire	quantité	unité	prix unitaire
amendements						
terreau	0	0	0	10	Sac de 25 kg	12,00
fumier	0	0	0	2	tonne	40,00
herbicides						
Basta	0	0	0	5	L	24,80
touch down	0	0	0	10	L	9,90
fusilade	0	0	0	0,5	L	50,00
fertilisation						
engrais 20-10-20	0	0	0	1000	kg	0,90
Mairol	0	0	0	1,5	boite	13,00
phytosanitaires						
Bacivers	0	0	0	0,5	boite	40,00
Dithane	0	0	0	0,5	boite	25,00
D-6	0	0	0	5	kg	25,03
irrigation						
gazoil	0	0	0	217,5	L	0,70
eau	0	0	0	100	m ³	0,10

Maraichage opérations culturales	Planteur 1			Planteur 2		
Travail du sol						
Sillonage	0	0	0	1	tracteur €/j	300
Herse	0	0	0	0,7	tracteur €/j	300
Epandage fumier + terreau	0	0	0	2,5	main d'œuvre €/j	50
Fertilisation	0	0	0	1,5	main d'œuvre €/j	50
Désherbage	0	0	0	4	main d'œuvre €/j	50
Traitement phytosanitaire	0	0	0	10	main d'œuvre €/j	50
Irrigation						
installation	0	0	0	4	main d'œuvre €/j	50
opérations quotidiennes	0	0	0	11,25	main d'œuvre €/j	50
Récolte						
récolte	0	0	0	16	main d'œuvre €/j	50
livraison	0	0	0	19,0	main d'œuvre €/j	50
trajet véhicule	0	0	0	56,875	pickup €/jour	9,375

Annexe 14 : Bases de la modélisation

Elaboration des coûts par opération culturale :

Pour chaque type de culture, on calcule le total des coûts par opération culturale comme la somme des coûts en intrants et des coûts en travaux manuels et mécaniques à l'échelle de l'hectare, et sur un pas de temps égal à un cycle de culture d'ananas, que nous avons considéré à 24 mois.

$$\text{coût total en intrants} = \sum_0^n (\text{quantité intrant}_i \times \text{prix unitaire intrant}_i)$$

coût total en travail

$$= \sum_0^m (\text{quantité temps manuel}_i \times \text{tarif journalier main d'oeuvre}_i \\ + \text{quantité temps mécanique}_i \times \text{tarif journalier travail mécanique})$$

$$\text{Coûts totaux} = \text{coût total intrants} + \text{coût total travail}$$

Où n est le nombre d'intrants utilisés pour une opération culturale donnée, et m le nombre d'interventions en travail mécanique ou manuel. Les tarifs journaliers en travail sont propres à chaque exploitation, et le tarif en travail mécanique comprend le coût de l'affectation d'une personne à l'utilisation du matériel.

Remarque :

Nous avons pris en compte que certains coûts de l'itinéraire technique sont proportionnels à la production, et donc au rendement. Nous avons ainsi identifié deux étapes de l'itinéraire technique dont les coûts peuvent varier en fonction du rendement : le besoin en main d'œuvre pour la récolte, et les coûts liés à la livraison comprenant la main d'œuvre (chauffeur, et chargement du véhicule de transport) ainsi que le coût d'utilisation du véhicule de transport pour la livraison au centre habituel de vente du planteur (coopérative).

Elaboration du rendement réel :

Le rendement réel R_a en ananas est calculé de la manière suivante :

$$R_a = \text{poids moyen d'un fruit} \times \text{nombre de pieds à l'hectare} \\ \times (1 - \text{pourcentage de perte})$$

Où le rendement réel de la culture est exprimé en kilogrammes par hectare. Le pourcentage de perte est obtenu par enquête auprès de chaque producteur, et reste une approximation des pertes pour chaque culture.

Le rendement réel R_m en maraîchage est calculé de la manière suivante :

$$R_m = \text{rendement théorique de la culture} \times (1 - \text{pourcentage de perte})$$

Cette méthode de calcul se justifie par le fait que, contrairement à l'ananas, où nous avons considéré une production d'un fruit par pied et par cycle, les cultures de maraîchage peuvent produire plusieurs fruits ou légumes par cycle sur un même pied. Il est donc difficile d'estimer un rendement à partir du nombre de fruits ou légumes par pied en maraîchage. Il nous est apparu plus pertinent d'estimer le rendement théorique sur la base de fiches techniques propres à chaque culture maraîchère établies par la Chambre d'Agriculture de Martinique.

Calcul du chiffre d'affaire

Pour l'ananas comme pour le maraîchage, on calcule le chiffre d'affaire (CA) par type de culture et sur le pas de temps de 24 mois comme suit :

$$CA = \text{Rendement}_{\text{réel}} \times (\text{prix de vente} + \text{Aide compensatoire})$$

Où le prix de vente et l'aide compensatoire sont exprimés en € par kilogramme, et le rendement réel a été calculé au préalable en kilogrammes par hectare.

Calcul de la marge brute

La marge brute est alors calculée pour chaque type de culture sur 24 mois également, et par hectare.

$$\text{Marge Brute} = CA - \text{Coûts totaux}$$

**Annexe 15: extrait du modèle ; tableur de calcul de la répartition des coûts pour une culture d'ananas
(source propre).**

	quantité/ha/durée culture	unité	prix unitaire	total/ha	total SAU Anana
coûts par type d'opération					1
Destruction vieille parcelle	quantité (jours)	unité	prix unitaire	total/ha	450
coutelassage	1,00	tracteur €/j	300,00	300,00	
extraction du mulch plastique	3,00	main d'œuvre €/j	50,00	150,00	
Travail du sol					500
herse	0,83	tracteur €/j	300,00	250,00	
charrue	0,83	tracteur €/j	300,00	250,00	
Amendements					386
chaux	16,00	sac de 25 kg	7,50	120,00	
physiolithe	8,00	sac de 50 kg	20,75	166,00	
Epandage amendements	2,00	main d'œuvre €/j	50,00	100,00	
Planting					4265
billonnage	2,00	tracteur €/j	300,00	600,00	
pose du mulch plastique	6,00	main d'œuvre €/j	50,00	300,00	
Mulch plastique	5,00	rouleau	255,00	1275,00	
préparation rejets	16,00	main d'œuvre €/j	50,00	800,00	
plantant des rejets	7,00	main d'œuvre €/j	50,00	350,00	
engrais	40,00	22+3MgO)sac de 50 kg	21,00	840,00	
multicot	0,00	0,00	0,00	0,00	
fertilisation plantation	2,00	main d'œuvre €/j	50	100	
Fertilisation					2051,75
urée	1490,00	kg	0,55	819,50	
potasse	1117,50	kg	0,70	782,25	
fertiactyl	0,00	L	10,00	0,00	
Epandage engrais	9,00	main d'œuvre €/j	50,00	450,00	
Désherbage					822
manuel (sarclage)	6,00	main d'œuvre €/j	50,00	300,00	
chimique	6,00	main d'œuvre €/j	50,00	300,00	
herbicide (360 g glyphosate/L)	20,00	L (touchdown)	11,10	222,00	
Fongicide					200
aliet	2,00	kg	50,00	100,00	
Application fongicide	2,00	main d'œuvre €/j	50,00	100,00	
Hormonage - TIF					240,2
ethrel	1	L	70	70	
urée	100	kg	0,55	55	
TIF	2,00	main d'œuvre €/j	57,6	115,2	
Récolte	60,00	main d'œuvre €/j	57,6	3456	
Autres frais					468,75
livraison	3,75	main d'œuvre €/j	50,00	187,50	
trajets véhicule	30,00	pickup €/jour	9,38	281,25	
Achat Rejets	25000,00	plant	0,33	8250,00	8250
cout total intrants				21089,70	21089,70
Total opérations	0,00			21089,70	21089,70
Total coût				21089,70	
Coût de production pour 1kg d'ananas				0,54	

Annexe 16 : détail des calculs pour les services rendus par la crotalaire (résultats à titre d'exemple) (source propre).

service 1	impact sur bioagresseurs telluriques	données CIRAD Martinique				
valeurs observées		mini	moyenne	test	maxi	
	suppression nématodes	90%	94%		98%	
	suppression symphytes	85%	90%		95%	
rentrer une valeur ici(A6)	impact négatif sur rendement	50%	30%	20%	10%	
	interaction wilt nematodes	50%	30%		10%	
	estimation du rendement après assainissement					
		20000	28000	32000	36000	Récolte fruits
						Récolte rejet

Remarque : c
Par exemple :
cause de

service 2					
rentrer une valeur ici A14	réduction de l'enherbement	50%	10%	90%	82%
	réduction sur les pratiques	en % du cout total de départ			
		mini	test	maxi	littérature
	coût estimé du désherbage ananas	50%	90%	10%	18%
	désherbant chimique	111,00	199,80	22,20	39,96
	travail lié au désherbage chimique	150,00	270,00	30,00	54,00
	manuel (sarclage)	150,00	270,00	30,00	54,00
	désherbage avant crotalaire	118,50	118,50	118,50	118,50
	coût total désherbage estimé (€/ha)	411,00	739,80	82,20	147,96
	pourcentage de réduction du coût	50%	10%	90%	82%
	application de l'herbicide (en L/ha)	11,50	19,50	3,50	5,10
	équivalent glyphosate (en g/ha)	4140	7020	1260	1836
	réduction d'utilisation du glyphosate	43%	3%	83%	75%

service 3					
	Fourniture en Matière Organique et éléments nutritifs du sol	mini	test	maxi	moyenne
	Apport de biomasse sèche (t/ha)	5,9	5,9	7,4	6,65
125	apport N (kg/ha)	110	125	165	137,5
0,45		38%	0,45	50%	0,44
	part de l'azote réellement disponible pour la culture suivante	41,8	56,25	82,5	62
rentrer une valeur ici	apport P (kg/t MS)	2,66	rentrer une valeur ici	4,94	3,8
	apport P/ha	15,7	#VALEUR!	36,6	26,1
rentrer une valeur ici	apport K (kg/ t MS)	9,66	rentrer une valeur ici	17,94	13,8
	apport K/ha	57,0	#VALEUR!	132,8	94,9
	coût sur l'apport d'engrais de plantation	mini		maxi	moyenne
	quantité à apporter en N	108,20	93,8	67,50	88
	équivalent urée (contient 46% N)	235,22	203,8043478	146,74	191
	P	négligé	négligé	négligé	négligé
	quantité à apporter en K20	191,20	165,66	119,28	155
	coût fertilisation plantation €/ha	263,21	228,06	80,71	171,96
	pourcentage de réduction du coût	69%	73%	90%	80%

tableau de calcul intermédiaire, paramètre à rentrer dans la ligne bleue		fraction massique phosphore élémentaire	fraction massique potassium élémentaire
		0,44	0,83
en kg/ha	N	P205	K20
engrais plantation	15	3	22
quantité totale départ	150	30	220
quantité élémentaire totale départ	N	P	K
	150	13,1	182,6
apport Crotalaire mini	41,8	15,7	57,0
reste à apporter	108	-2,6	126
équivalent P205/K20	108	-6	151
apport crotalaire test	56,25	#VALEUR!	#VALEUR!
reste à apporter	94	#VALEUR!	#VALEUR!
équivalent P205/K20	94	#VALEUR!	#VALEUR!
apport crotalaire maxi	82,5	36,6	132,8
reste à apporter	68	-23	50
équivalent P205/K20	68	-54	60